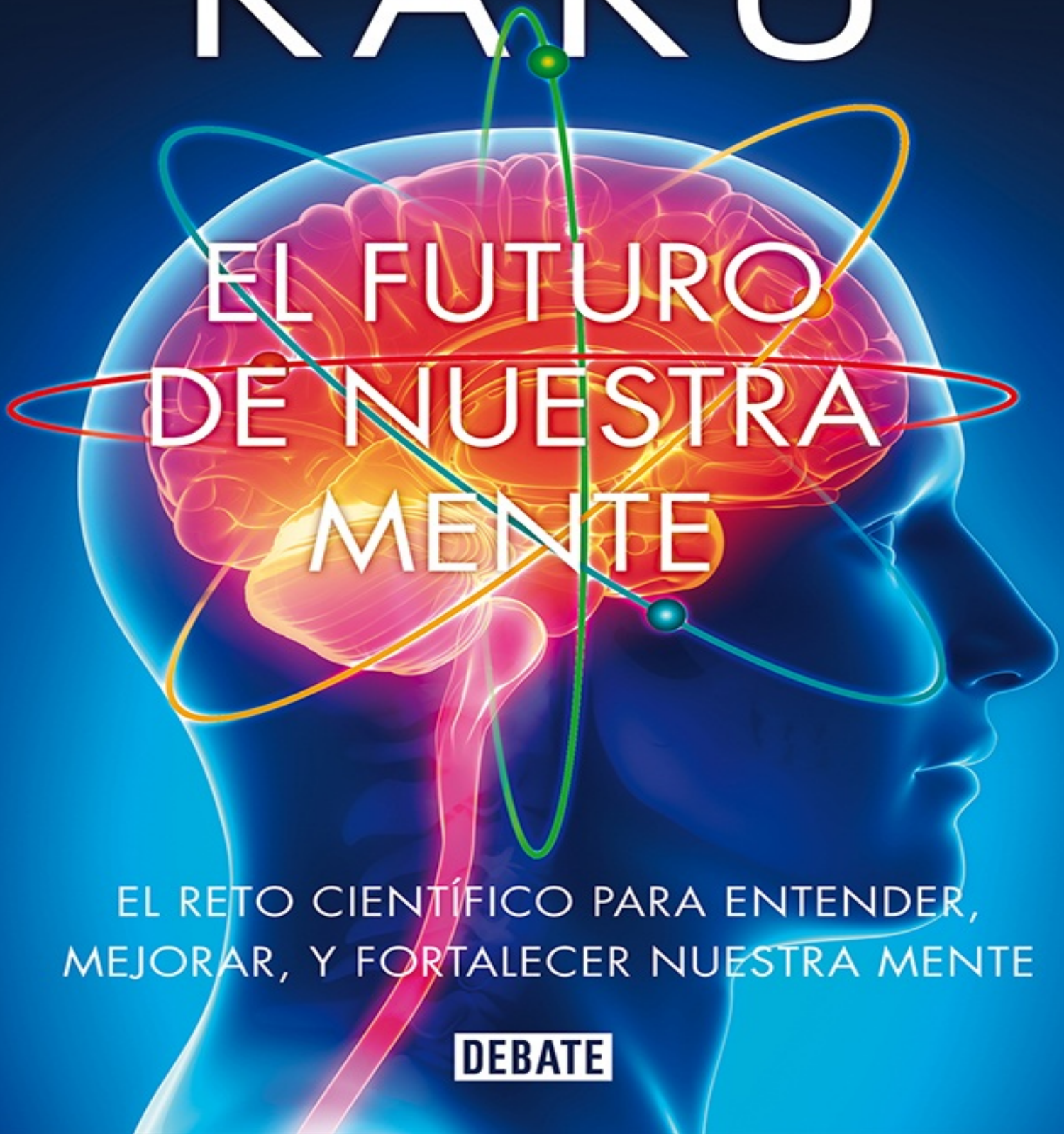
MICHIO KAKU



EL FUTURO DE NUESTRA MENTE

EL RETO CIENTÍFICO PARA ENTENDER, MEJORAR, Y FORTALECER NUESTRA MENTE

DEBATE

El futuro
de nuestra mente

El reto científico para entender, mejorar
y fortalecer nuestra mente

MICHIO KAKU

Traducción de
Juan Manuel Ibeas y
Marcos Pérez Sánchez

DEBATE

www.megustaleerebooks.com

Quiero dedicar este libro a mi querida esposa, Shizue,
y a mis hijas, Michelle y Alyson

Agradecimientos

He tenido el gran placer de entrevistar e interactuar con los siguientes científicos ilustres, todos ellos líderes en sus respectivos campos. Me gustaría agradecerles la cortesía de haber dedicado tiempo a hablar conmigo sobre el futuro de la ciencia. He obtenido de ellos consejos e inspiración, así como unos sólidos cimientos en sus respectivas disciplinas.

Quiero darles las gracias a estos pioneros e innovadores, en particular a quienes accedieron a participar en mis programas de televisión para los canales BBC, Discovery y Science TV, así como en mis programas de radio *Science Fantastic* y *Explorations*.

Peter Doherty, Premio Nobel, Hospital St. Jude de Investigación Infantil
Gerald Edelman, Premio Nobel, Instituto de Investigación Scripps
Leon Lederman, Premio Nobel, Instituto de Tecnología de Illinois
Murray Gell-Mann, Premio Nobel, Instituto de Santa Fe e Instituto Tecnológico de California (Caltech)
El ya fallecido Henry Kendall, Premio Nobel, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)
Walter Gilbert, Premio Nobel, Universidad de Harvard
David Gross, Premio Nobel, Instituto Kavli de Física Teórica
Joseph Rotblat, Premio Nobel, Hospital de St. Bartholomew
Yoichiro Nambu, Premio Nobel, Universidad de Chicago
Steven Weinberg, Premio Nobel, Universidad de Texas en Austin
Frank Wilczek, Premio Nobel, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Amir Aczel, autor de *Las guerras del uranio*
Buzz Aldrin, astronauta de la NASA, segundo hombre en caminar sobre la Luna
Geoff Andersen, Academia de las Fuerzas Aéreas Estadounidenses, autor de *The Telescope*
Jay Barbree, autor de *Moon Shot*
John Barrow, físico, Universidad de Cambridge, autor de *Imposibilidad*
Marcia Bartusiak, autora de *La sinfonía inacabada de Einstein*
Jim Bell, astrónomo en la Universidad de Cornell
Jeffrey Bennet, autor de *Beyond UFOs*
Bob Berman, astrónomo, autor de *The Secrets of the Night Sky*
Leslie Biesecker, Institutos Nacionales de la Salud (NIH)

Piers Bizony, autor de *How to Build Your Own Starship*

Michael Blaese, Institutos Nacionales de la Salud

Alex Boese, fundador del Museo de los Bulos

Nick Bostrom, transhumanista, Universidad de Oxford

Teniente coronel Robert Bowman, Instituto de Estudios del Espacio y la Seguridad

Cynthia Breazeal, inteligencia artificial, Media Lab, Instituto Tecnológico de Massachusetts

Lawrence Brody, Institutos Nacionales de la Salud

Rodney Brooks, director del Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts

Lester Brown, Earth Policy Institute

Michael Brown, astrónomo, Caltech

James Canton, autor de *The Extreme Future*

Arthur Caplan, director del Centro de Bioética de la Universidad de Pennsylvania

Fritjof Capra, autor de *La ciencia de Leonardo*

Sean Carroll, cosmólogo, Caltech

Andrew Chaikin, autor de *A Man on the Moon*

Leroy Chiao, astronauta de la NASA

Eric Chivian, Asociación Internacional de Médicos para la Prevención de la Guerra Nuclear

Deepak Chopra, autor de *Super Brain*

George Church, director del Centro de Genética Computacional de la Universidad de Harvard

Thomas Cochran, físico, Natural Resources Defense Council

Francis Collins, Institutos Nacionales de la Salud

Vicki Colvin, nanotecnóloga, Universidad de Texas

Christopher Cokinos, astrónomo, autor de *Fallen Sky*

Neal Comins, autor de *Hazards of Space Travel*

Steve Cook, portavoz de la NASA

Christine Cosgrove, autora de *Normal at Any Cost*

Steve Cousins, consejero delegado del Willow Garage Personal Robots Program

Phillip Coyle, ex asistente del secretario de Defensa de Estados Unidos

Daniel Crevier, inteligencia artificial, consejero delegado de Coreco

Ken Croswell, astrónomo, autor de *Magnificent Universe*

Steven Cummer, informático, Universidad de Duke

Mark Cutkowsky, ingeniería mecánica, Universidad de Stanford

Paul Davies, físico, autor de *Superforce*

El ya fallecido Michael Dertouzos, informático, Instituto Tecnológico de Massachusetts

Daniel Dennet, filósofo, Universidad de Tufts

Jared Diamond, ganador del Premio Pulitzer, Universidad de California en Berkeley
Marriot DiChristina, *Scientific American*
Peter Dilworth, Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts
John Donoghue, creador de Braingate, Universidad de Brown
Ann Druyan, viuda de Carl Sagan, Cosmos Studios
Freeman Dyson, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton
David Eagleman, neurocientífico, Baylor College de Medicina
Paul Erlich, ecólogo, Universidad de Stanford
John Ellis, físico, CERN
Daniel Fairbanks, autor de *Relics of Eden*
Timothy Ferris, Universidad de California, autor de *Coming of Age in the Milky Way Galaxy*
Maria Finitzo, experta en células madre, ganadora del Premio Peabody
Robert Finkelstein, experto en inteligencia artificial
Christopher Flavin, World Watch Institute
Louis Friedman, confundador de la Sociedad Planetaria
Jack Gallant, neurocientífico, Universidad de California en Berkeley
James Garwin, director científico de la NASA
Evelyn Gates, autora de *El telescopio de Einstein*
Michael Gazzaniga, neurólogo, Universidad de California en Santa Barbara
Jack Geiger, cofundador de Médicos por la Responsabilidad Social
David Gelertner, informático, Universidad de Yale, Universidad de California
Neal Gershenfeld, Media Lab, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Daniel Gilbert, psicólogo, Universidad de Harvard
Paul Gilster, autor de *Centauri Dreams*
Rebecca Goldberg, Fondo para la Defensa Medioambiental
Don Goldsmith, astrónomo, autor de *Runaway Universe*
David Goodstein, vicerrector de Caltech
J. Richard Gott III, Universidad de Princeton, autor de *Time Travel in Einstein's Universe*
Stephen Jay Gould, biólogo, Universidad de Harvard
El embajador Thomas Graham, satélites espía y espionaje
Eric Green, Institutos Nacionales de la Salud
Ronald Green, autor de *Babies by Design*
Brian Greene, Universidad de Columbia, autor de *El universo elegante*
John Grant, autor de *Corrupted Science*
Alan Guth, físico, Instituto Tecnológico de Massachusetts, autor de *El universo inflacionario*
William Hanson, autor de *The Edge of Medicine*

Leonard Hayflick, Facultad de Medicina, Universidad de California en San Francisco

Donald Hillebrand, Laboratorios Nacionales Argonne, futuro del coche

Frank N. von Hippel, físico, Universidad de Princeton

Douglas Hofstadter, ganador del Premio Pulitzer, Universidad de Indiana, autor de *Gödel, Escher, Bach*

Allan Hobson, psiquiatra, Universidad de Harvard

John Horgan, Instituto Stevens de Tecnología, autor de *El fin de la ciencia*

Jeffrey Hoffman, astronauta de la NASA, Instituto Tecnológico de Massachusetts

Jamie Hyneman, presentador de *Cazadores de mitos*

Chris Impey, astrónomo, autor de *The Living Cosmos*

Robert Irie, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto Tecnológico de Massachusetts

P. J. Jacobowitz, *PC Magazine*

Jay Jaroslav, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto Tecnológico de Massachusetts

Donald Johanson, antropólogo, descubridor de Lucy

George Johnson, periodista científico en *The New York Times*

Tom Jones, astronauta de la NASA

Steve Kates, astrónomo

Jack Kessler, experto en células madre, ganador del Premio Peabody

Robert Kirshner, astrónomo, Universidad de Harvard

Kris Koenig, astrónomo

Lawrence Krauss, Universidad Estatal de Arizona, autor de *La física de Star Trek*

Ray Kurzweil, inventor, autor de *La era de las máquinas espirituales*

Lawrence Kuhn, director de cine y filósofo, director y presentador de *Closer to Truth*

Robert Lanza, biotecnología, Advanced Cell Technologies

Roger Launius, autor de *Robots in Space*

Stan Lee, creador de Marvel Comics y Spider-Man

Michael Lemonick, editor científico de *Time*

Arthur Lerner-Lam, geólogo, vulcanista

Simon LeVay, autor de *When Science Goes Wrong*

John Lewis, astrónomo, Universidad de Arizona

Alan Lightman, Instituto Tecnológico de Massachusetts, autor de *Sueños de Einstein*

George Linehan, autor de *Space One*

Seth Lloyd, Instituto Tecnológico de Massachusetts, autor de *Programming the Universe*

Werner R. Loewenstein, antiguo director del Laboratorio de Física Celular, Universidad de Columbia

Joseph Lykken, físico, Laboratorio Nacional Fermi (Fermilab)

Robert Mann, autor de *Forensic Detective*

Michael Paul Mason, autor de *Head Cases: Stories of Brain Injury and Its Aftermath*
Patrick McCray, autor de *Keep Watching the Skies*
Glenn McGee, autor de *The Perfect Baby*
James McLurkin, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Paul McMillan, director de *Spacewatch*
Pattie Maes, Media Lab, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Fulvia Melia, astrónomo, Universidad de Arizona
William Meller, autor de *Evolution Rx*
Paul Meltzer, Institutos Nacionales de la Salud
Marvin Minsky, Instituto Tecnológico de Massachusetts, autor de *The Society of Minds*
Hans Moravec, autor de *Robot*
El difunto Phillip Morrison, físico, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Richard Muller, astrofísico, Universidad de California en Berkeley
David Nahamoo, Tecnología para el Lenguaje Humano, IBM
Christina Neal, vulcanista
Miguel Nicolelis, neurocientífico, Universidad de Duke
Shinji Nishimoto, neurólogo, Universidad de California en Berkeley
Michael Novacek, Museo Americano de Historia Natural
Michael Oppenheimer, ecólogo, Universidad de Princeton
Dean Ornish, especialista en cáncer y enfermedades del corazón
Peter Palese, virólogo, Mount Sinai School of Medicine
Charles Pellerin, funcionario de la NASA
Sidney Perkowitz, autor de *Hollywood Science*
John Pike, GlobalSecurity.org
Jena Pincott, autora de *Do Gentlemen Really Prefer Blondes?*
Steven Pinker, psicólogo, Universidad de Harvard
Thomas Poggio, inteligencia artificial, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Correy Powell, editor de la revista *Discover*
John Powell, fundador de JP Aerospace
Richard Preston, autor de *Zona caliente* y *Demon in the Freezer*
Raman Prinja, astrónomo, University College London
David Quammen, biólogo evolutivo, autor de *El remiso Mr. Darwin*
Katherine Ramsland, científica forense
Lisa Randall, autora de *Universos ocultos*, Universidad de Harvard
Sir Martin Rees, astrónomo real de Gran Bretaña, Universidad de Cambridge, autor de *Antes del principio*

Jeremy Rifkin, Foundation for Economic Trends (FET)
David Riquier, Media Lab, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Jane Rissler, Union of Concerned Scientists
Steven Rosenberg, Institutos Nacionales de la Salud
Oliver Sacks, neurólogo, Universidad de Columbia
Paul Saffo, futurólogo, Institute of the Future
El ya fallecido Carl Sagan, Universidad de Cornell, autor de *Cosmos*
Nick Sagan, coautor de *You Call This the Future?*
Michael H. Salamon, programa Beyond Einstein de la NASA
Adam Savage, presentador de *Cazadores de mitos*
Peter Schwartz, futurólogo, fundador de Global Business Network
Michael Shermer, fundador de la Skeptic Society y la revista *Skeptic*
Donna Shirley, programa de la NASA en Marte
Seth Shostak, SETI Institute
Neil Shubin, autor de *Your Inner Fish*
Paul Shurch, SETI League
Peter Singer, autor de *Wired for War*
Simon Singh, autor de *Big Bang*
Gary Small, autor de *iBrain*
Paul Spudis, autor de *Odyssey Moon Limited*
Stephen Squyres, astrónomo, Universidad de Cornell
Paul Steinhardt, Universidad de Princeton, autor de *Endless Universe*
Jack Stern, cirujano especializado en células madre
Gregory Stock, Universidad de California en Berkeley, autor de *Redesigning Humans*
Richard Stone, autor de *NEOs* y *Tunguska*
Brian Sullivan, Planetario Hayden
Leonard Susskind, físico, Universidad de Stanford
Daniel Tammet, autor de *Nacido en un día azul*
El ya fallecido Ted Taylor, diseñador de las cabezas nucleares estadounidenses
Geoffrey Taylor, físico, Universidad de Melbourne
Max Tegmark, cosmólogo, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Alvin Toffler, autor de *La tercera ola*
Patrick Tucker, World Future Society
Chris Turney, Universidad de Wollongong, autor de *Ice, Mud and Blood*
Neil de Grasse Tyson, director del Planetario Hayden
Sesh Velamoor, Fundación para el Futuro

Robert Wallace, autor de *Spycraft*
Kevin Warwick, cíborgs humanos, Universidad de Reading, Reino Unido
Fred Watson, astrónomo, autor de *Stargazer*
El ya fallecido Mark Weiser, Xerox PARC
Alan Weisman, autor de *El mundo sin nosotros*
Daniel Wertheimer, SETI at Home, Universidad de California en Berkeley
Mike Wessler, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto Tecnológico de Massachusetts
Roger Wiens, astrónomo, Laboratorio Nacional de Los Álamos
Arthur Wiggins, autor de *The Joy of Physics*
Anthony Wynshaw-Boris, Institutos Nacionales de la Salud
Carl Zimmer, biólogo, autor de *Evolution*
Robert Zimmerman, autor de *Adiós a la Tierra*
Robert Zubrin, fundador de la Mars Society

También me gustaría dar las gracias a mi agente, Stuart Krichevsky, que ha permanecido a mi lado todos estos años y me ha ofrecido consejos útiles sobre mis libros. Siempre he sacado provecho de su buen juicio. También quiero agradecer a mis editores, Edward Kastenmeier y Melissa Danaczko, sus inestimables consejos editoriales y que hayan llevado mi libro a buen puerto. Asimismo, quiero darle las gracias a la doctora Michelle Kaku, residente en neurología en el Hospital Mount Sinai de Nueva York, por nuestras estimulantes y fructíferas conversaciones. Me gustaría darles las gracias también a mis colegas en el City College de Nueva York y en el Centro de Postgrado de la City University de Nueva York.

Introducción

Los dos mayores misterios de la naturaleza son la mente y el universo. Gracias a nuestra avanzada tecnología, hemos sido capaces de obtener imágenes de galaxias situadas a miles de millones de años luz, manipular los genes que controlan la vida e introducirnos en el sanctasanctórum del átomo; sin embargo la mente y el universo siguen siendo tan esquivos como seductores. Son las fronteras más misteriosas y fascinantes de la ciencia.

Si queremos apreciar la majestuosidad del universo, solo tenemos que alzar la vista hacia el firmamento nocturno, resplandeciente con sus miles de millones de estrellas. Desde que nuestros antepasados se asombraron por primera vez ante el espectáculo del cielo estrellado, hemos tratado de dar respuesta a estas preguntas eternas: ¿de dónde surgió todo?; ¿qué significa todo esto?

Para ser testigos del misterio de nuestra mente, no tenemos más que mirarnos al espejo y preguntarnos qué se oculta tras nuestros ojos, lo que nos lleva a plantearnos obsesivamente preguntas como: ¿tenemos alma?; ¿qué es de nosotros tras la muerte?; ¿quién soy «yo»? Y, lo que es más importante, nos conduce hasta la cuestión definitiva: ¿cuál es nuestro lugar en el gran proyecto cósmico? Como dijo el gran biólogo victoriano Thomas Huxley: «La más importante de todas las preguntas para la humanidad, el problema que subyace a todos los demás y es más interesante que cualquiera de ellos, es el de dilucidar el lugar que el hombre ocupa en la naturaleza y su relación con el cosmos».

En la Vía Láctea existen cien mil millones de estrellas, aproximadamente la misma cantidad de neuronas que hay en nuestro cerebro. Tendríamos que viajar treinta y nueve billones de kilómetros, hasta la estrella más cercana al sistema solar, para encontrar un objeto tan complejo como el que reposa sobre nuestros hombros.[1] La mente y el universo suponen el mayor reto científico posible, pero también los une una curiosa relación. Por una parte, son polos opuestos: uno tiene que ver con la inmensidad del espacio exterior, donde encontramos extraños habitantes, como agujeros negros, estrellas que explotan y galaxias en colisión; la otra, con el espacio interior, donde hallamos nuestros deseos e ilusiones más íntimos y privados. Nuestra mente está tan presente en nosotros como nuestros propios pensamientos; sin embargo, cuando nos piden que la describamos y la expliquemos, con frecuencia nos faltan las palabras.

Pero, aunque en este sentido puedan ser polos opuestos, poseen una historia y una narrativa comunes. Ambos han estado envueltos en magia y superstición desde tiempo inmemorial. Los astrólogos y los frenólogos afirmaban haber descubierto el significado del universo en cada

constelación del zodíaco y en cada protuberancia de la cabeza. Mientras que mentalistas y videntes han sido celebrados y vilipendiados a lo largo de los años.

El universo y la mente siguen entrecruzándose de muy diversas maneras, gracias en buena medida a algunas de las reveladoras ideas que son tan propias de la ciencia ficción. De niño, cuando leía esos libros, soñaba despierto con la posibilidad de formar parte de los slan, una raza de telépatas creada por A. E. van Vogt. Me maravillaba cómo un mutante llamado la Mula podía dar rienda suelta a sus tremendos poderes telepáticos y estar a punto de hacerse con el control del Imperio Galáctico en la *Trilogía de la Fundación* de Isaac Asimov. Y, en la película *El planeta prohibido*, me preguntaba cómo una civilización millones de años más avanzada que la nuestra podía canalizar sus enormes poderes telepáticos para transformar la realidad a su antojo y capricho.

Más tarde, cuando tenía unos diez años, se estrenó en televisión *The Amazing Dunninger*, que deslumbraba al público con espectaculares trucos de magia. Su lema era: «Para quienes creen, no es necesaria ninguna explicación; para quienes no creen, ninguna explicación será suficiente». Un día dijo que transmitiría sus pensamientos a millones de personas en todo el país. Cerró los ojos y empezó a concentrarse, mientras decía que estaba emitiendo el nombre de un presidente de los Estados Unidos. Pidió a los espectadores que escribiesen el nombre que les viniese a la mente y se lo mandasen en una postal. A la semana siguiente anunció eufórico que habían llegado miles de postales con el nombre de «Roosevelt», precisamente el que había «emitido» a lo largo y ancho de Estados Unidos.

A mí no me impresionó. Por aquel entonces, el recuerdo de Roosevelt aún estaba muy presente entre quienes habían vivido la Gran Depresión y la Segunda Guerra Mundial, así que no fue ninguna sorpresa. (Pensé que lo que sí habría sido verdaderamente asombroso es que Dunninger hubiese pensado en el presidente Millard Fillmore.)

Aun así, avivó mi imaginación, y no pude resistirme a experimentar con la telepatía por mi cuenta, y tratar de leer la mente de otras personas concentrándome con todas mis fuerzas. Cerraba los ojos, me concentraba intensamente, e intentaba «escuchar» sus pensamientos y mover objetos por telequinesis.

No tuve éxito.

Quizá hubiese telépatas en algún lugar de la Tierra, pero yo no era uno de ellos. Poco a poco empecé a darme cuenta de que probablemente las hazañas de los telépatas eran imposibles, al menos sin ayuda externa. Pero, en los años siguientes, también aprendí otra lección: para descifrar los mayores secretos del universo no eran necesarios poderes telepáticos o sobrehumanos. Bastaba con tener una mente abierta, decidida y curiosa. En particular, para entender si los fantásticos objetos de la ciencia ficción son posibles o no, debemos sumergirnos en la física avanzada. Para comprender en qué punto preciso lo posible se torna imposible, debemos apreciar y entender las leyes de la física.

Estas dos pasiones han alimentado mi imaginación durante todos estos años: comprender las leyes

fundamentales de la física y ver cómo la ciencia determinará el futuro de nuestras vidas. Para dar testimonio de ello, y para compartir mi entusiasmo por la búsqueda de las leyes últimas de la física, he escrito los libros *Hyperspace*, *Beyond Einstein [Más allá de Einstein]* y *Universos paralelos.* Y, para expresar mi fascinación con el futuro, he escrito *Visiones*, *Física de lo imposible* y *La física del futuro.* El proceso de investigación previa y de escritura de estos libros me recordó una y otra vez que la mente humana continúa siendo una de las mayores y más misteriosas fuerzas del mundo.

De hecho, durante la mayor parte de la historia hemos sido incapaces de comprender qué es o cómo funciona nuestra mente. Los antiguos egipcios, a pesar de todos sus grandes logros en las artes y las ciencias, creían que el cerebro era un órgano inútil y se deshacían de él cuando embalsamaban a sus faraones. Aristóteles estaba convencido de que el alma residía en el corazón, no en el cerebro, cuya única función era la de refrigerar el sistema cardiovascular. Otros, como Descartes, creían que el alma entraba en el cuerpo a través de la minúscula glándula pineal del cerebro. Pero, como carecían de toda evidencia sólida, ninguna de estas teorías se podía demostrar.

Esta «edad oscura» se prolongó durante miles de años, y con razón. El cerebro pesa únicamente alrededor de kilo y medio, sin embargo es el objeto más complejo del sistema solar. Aunque supone tan solo el 2 por ciento del peso corporal, su apetito es insaciable y consume un 20 por ciento de nuestra energía total (en los recién nacidos, el cerebro consume un pasmoso 65 por ciento de la energía total del bebé), mientras que un 80 por ciento de nuestros genes codifican características del cerebro. Se calcula que dentro de la cavidad craneal existen cien mil millones de neuronas, y un número exponencialmente mayor de conexiones neuronales y vías nerviosas.

En 1977, en su libro *Los dragones del Edén*, por el que obtuvo el Premio Pulitzer, el astrónomo Carl Sagan resumió a grandes rasgos lo que se sabía sobre el cerebro por aquel entonces. El libro está magníficamente escrito y trata de presentar el conocimiento puntero en neurociencia, lo cual en la época implicaba tener que basarse principalmente en tres métodos. El primero consistía en comparar nuestro cerebro con el de otras especies. Esta era una tarea laboriosa y difícil, porque implicaba diseccionar los cerebros de miles de animales. El segundo era igualmente indirecto: el análisis de víctimas de derrames cerebrales y otras enfermedades que, por ello mismo, a menudo exhibían comportamientos extraños. Solo una autopsia podía revelar cuál era la zona del cerebro dañada. Mediante el tercero los científicos podían utilizar electrodos para sondear el cerebro y, lenta y trabajosamente, establecer la relación entre las distintas partes del cerebro y los comportamientos.

Pero las herramientas básicas de la neurociencia no permitían analizar el cerebro de manera sistemática. No era posible seleccionar a una persona que hubiese sufrido un derrame en la zona específica que se quería estudiar. Puesto que el cerebro es un sistema vivo y dinámico, con frecuencia las autopsias no permitían revelar las características más interesantes, como la manera en que las distintas partes del cerebro interactúan entre sí y, menos aún, cómo producen pensamientos tan diversos como el amor, el odio, los celos o la curiosidad.

REVOLUCIONES GEMELAS

El telescopio se inventó hace cuatrocientos años y, casi de la noche a la mañana, este instrumento nuevo y milagroso nos permitió adentrarnos en el corazón de los cuerpos celestes. Es uno de los instrumentos más revolucionarios (y subversivos) de todos los tiempos. De pronto, con nuestros propios ojos, podíamos ver cómo los mitos y dogmas del pasado se disipaban como la bruma de la mañana. En lugar de ser ejemplos perfectos de la sabiduría divina, la Luna tenía cráteres; el Sol, manchas oscuras; Júpiter, lunas; Venus, fases y Saturno, anillos. Aprendimos más sobre el universo en los quince años que siguieron a la invención del telescopio que en toda la historia humana hasta entonces.

Como la invención del telescopio, la aparición, a mediados de la década de 1990 y en la primera década del siglo XXI, de las máquinas de imagen por resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés: *Magnetic Resonance Imaging*) y una variedad de sofisticados escáneres cerebrales ha transformado la neurociencia. Hemos aprendido más sobre el cerebro en los últimos quince años que en toda la historia humana, y la mente, antes considerada fuera de nuestro alcance, empieza por fin a ocupar su lugar bajo los focos.

El Premio Nobel Eric R. Kandel, del Instituto Max Planck en Tubinga, Alemania, escribe: «Las revelaciones más valiosas que surgen sobre la mente humana en este período no provienen de las disciplinas dedicadas tradicionalmente al estudio de la mente (como la filosofía, la psicología o el psicoanálisis), sino de una combinación de dichas disciplinas con la biología del cerebro».[2]

Los físicos han desempeñado un papel fundamental en este proyecto, proporcionando toda una serie de nuevas herramientas, con siglas como MRI, EEG, PET, CAT, TCM, TES y DBS, que han alterado espectacularmente la manera de estudiar el cerebro. De pronto, con estas máquinas podíamos ver cómo los pensamientos se movían a través de un cerebro vivo y pensante. Según dice V. S. Ramachandran, de la Universidad de California en San Diego: «Todas esas cuestiones que los filósofos han estudiado durante milenios, nosotros los científicos las podemos empezar a explorar a partir de imágenes cerebrales, estudiando a los pacientes y haciendo las preguntas correctas».[3]

Si hago memoria, veo que en algunas de mis primeras incursiones en el mundo de la física me topé con las mismas tecnologías que ahora están abriendo la mente a la exploración científica. Cuando estaba en secundaria, por ejemplo, tuve conocimiento de una nueva forma de la materia, llamada «antimateria», y decidí llevar a cabo un proyecto científico para estudiarla. Como se trata de una de las sustancias más exóticas de la Tierra, tuve que recurrir a la antigua Comisión de la Energía Atómica para conseguir una minúscula cantidad de sodio 22, una sustancia que emite electrones positivos (antielectrones, o positrones) de manera natural. Teniendo a mi disposición una pequeña

muestra, pude construir una cámara de niebla y un potente campo magnético que me permitió fotografiar los rastros de vapor que dejaban las partículas. Por aquel entonces no lo sabía, pero poco después el sodio 22 sería instrumental en una nueva tecnología llamada «tomografía por emisión de positrones» (PET, por sus siglas en inglés: *positron emission tomography*), que nos ha permitido obtener datos sorprendentes sobre el funcionamiento del cerebro.

Otra tecnología con la que experimenté en aquella época fue la resonancia magnética. Asistí a una conferencia de Felix Bloch, de la Universidad de Stanford, quien compartió el Premio Nobel en Física de 1952 con Edward Purcell por el descubrimiento de la resonancia magnética nuclear. El doctor Bloch nos explicó a los chavales de secundaria que acudimos a escucharle que, si teníamos un potente campo magnético, los átomos se alinearían verticalmente con él como la aguja de una brújula. Y si después aplicábamos un pulso de radio a esos átomos con una frecuencia que coincidiese exactamente con la de resonancia, podríamos hacer que se invirtiesen. Al hacerlo, emitían otro pulso, como un eco, que permitiría determinar la identidad de esos átomos. (Más tarde utilicé el principio de la resonancia magnética para construir un acelerador de partículas de 2,3 millones de electronvoltios en el garaje de la casa de mi madre.)

Apenas un par de años después, en mi primer año en la Universidad de Harvard, tuve el honor de asistir al curso de electrodinámica del doctor Purcell. Más o menos por esa misma época, trabajé durante un verano con el doctor Richard Ernst, que estaba intentando generalizar el trabajo de Bloch y Purcell sobre la resonancia magnética. Lo logró de manera espectacular, y acabaría recibiendo el Premio Nobel de Física en 1991 por establecer los fundamentos de la máquina de imagen por resonancia magnética moderna. Esta, a su vez, nos ha permitido obtener fotografías del cerebro vivo con un detalle todavía mayor que la tomografía por emisión de positrones.

POTENCIAR LA MENTE

Con el tiempo, llegué a ser profesor de física teórica, pero mi fascinación por la mente nunca disminuyó. Es emocionante ver cómo, tan solo en la última década, los avances en física han hecho posibles algunas de las hazañas del mentalismo que tanto me interesaban de niño. Empleando escáneres de imagen por resonancia magnética, los científicos pueden ahora leer los pensamientos que circulan por nuestro cerebro. Y también pueden insertar un chip en el cerebro de pacientes completamente paralíticos y conectarlo a un ordenador para que, solo mediante el pensamiento, puedan navegar por la web, leer y escribir correos electrónicos, jugar a videojuegos, controlar su silla de ruedas, operar con electrodomésticos y controlar brazos mecánicos. De hecho, estos pacientes son capaces de hacer todo lo que una persona normal puede hacer a través de un ordenador.

Ahora los científicos van más allá y conectan el cerebro directamente a un exoesqueleto que los

pacientes pueden llevar alrededor de sus miembros paralizados. Algún día, los tetrapléjicos podrán llevar una vida casi normal. Estos exoesqueletos también nos proporcionan superpoderes para hacer frente a peligros letales. En el futuro, los astronautas podrían explorar los planetas controlando mentalmente sustitutos mecánicos desde la comodidad de sus casas.

Como en la película *Matrix*, un día podríamos llegar a descargar recuerdos y habilidades utilizando ordenadores. En distintos estudios, los científicos ya han logrado insertar recuerdos en el cerebro de animales. Quizá no sea más que cuestión de tiempo hasta que podamos hacerlo con nuestro propio cerebro, para aprender nuevas disciplinas, ir de vacaciones a lugares que no conocemos o dominar nuevos pasatiempos. Y, si se pueden descargar habilidades técnicas en la mente de los trabajadores y los científicos, eso podría incluso reflejarse en la economía mundial. Algún día, los científicos podrían construir una «internet de la mente», o *brain-net*, en la que los pensamientos y las emociones se enviarían electrónicamente de un lugar a otro del mundo. Incluso los sueños se podrían grabar y después enviar de un cerebro a otro a través de internet.

La tecnología también podría permitirnos mejorar nuestra inteligencia. Se han hecho progresos en la comprensión de los extraordinarios talentos de los *savants*, cuya capacidad mental, artística y matemática es realmente asombrosa. Además, actualmente se están secuenciando los genes que nos distinguen de los simios, lo que nos permitirá aventurarnos como nunca antes en los orígenes evolutivos del cerebro. En animales, ya se ha conseguido aislar genes que aumentan su memoria y capacidad mental.

La expectación y la ilusión que generan estos relevadores avances son de tal magnitud que también han llamado la atención de los políticos. De hecho, la ciencia que estudia el cerebro se ha convertido en un foco de la rivalidad transatlántica entre las mayores potencias económicas del planeta. En enero de 2013, el presidente Obama y la Unión Europea anunciaron una partida presupuestal de miles de millones de dólares destinados a dos proyectos independientes que buscan desentrañar las claves del cerebro. Descifrar la intrincada red neuronal del cerebro, algo que en otra época se pensó que quedaba completamente fuera del alcance de la ciencia moderna, es ahora el objetivo de dos proyectos que, como el del Genoma Humano, cambiarán el panorama médico y científico. Esto no solo nos permitirá tener un acceso ilimitado a nuestra mente, sino que también propiciará la creación de nuevas industrias, estimulará la actividad económica y abrirá nuevos horizontes para la neurociencia.

Una vez que se descodifiquen las vías nerviosas, cabe imaginar que podamos llegar a comprender los orígenes precisos de las enfermedades mentales, y quizá encontrar una cura para tan antiguos males. Esta descodificación también hará posible crear una copia del cerebro, lo que suscita cuestiones filosóficas y éticas. ¿Quiénes somos, si nuestra conciencia se puede cargar en un ordenador? Podemos jugar incluso con la idea de la inmortalidad. Nuestros cuerpos se deterioran y mueren, pero ¿podría nuestra conciencia vivir eternamente?

Y, más allá de eso, quizá algún día, en un futuro lejano, la mente se libere de sus limitaciones corpóreas y vague libremente entre las estrellas, como más de un científico ha imaginado. Podemos imaginar que, dentro de unos siglos, seremos capaces de introducir toda nuestra impronta neuronal en rayos láser que después se enviarán al espacio profundo. Esta será, quizá, la mejor manera de conseguir que nuestra conciencia explore las estrellas.

Se abre ahora ante nosotros un panorama científico nuevo y resplandeciente, que transformará el destino de la humanidad. Entramos en una nueva era dorada de la neurociencia.

Para elaborar estas predicciones he contado con la inestimable ayuda de los científicos que amablemente me han permitido entrevistarlos, que difundiese sus ideas en la radio o incluso que entrase en sus laboratorios con mi equipo de técnicos de televisión. Estos son los científicos que están edificando los cimientos para el futuro de la mente. Para incorporar sus ideas a este libro, solo impuse dos requisitos: (1) sus predicciones debían cumplir rigurosamente las leyes de la física y (2) debían existir prototipos que permitiesen, en principio, demostrar la aplicabilidad de esas ambiciosas ideas.

TOCADOS POR LA ENFERMEDAD MENTAL

Hace unos años escribí una biografía de Albert Einstein, titulada *El universo de Einstein*, y tuve que sumergirme en los detalles más nimios de su vida privada. Sabía que su hijo menor había padecido esquizofrenia, pero no era consciente del coste emocional que esto tuvo en la vida del genial científico. La enfermedad mental también afectó a Einstein de otra manera: uno de sus colegas más cercanos era el físico Paul Ehrenfest, quien le ayudó a desarrollar la teoría de la relatividad general. Desgraciadamente, tras sufrir varias embestidas de la depresión, Ehrenfest mató a su propio hijo, afectado por el síndrome de Down, y después se suicidó. A lo largo de los años he visto cómo muchos de mis colegas y amigos han tenido que hacer frente a enfermedades mentales en sus familias.

La enfermedad mental también ha tenido una presencia intensa en mi vida. Hace unos años mi madre murió tras una larga batalla con el alzhéimer. Fue desolador ver cómo iba olvidando gradualmente a sus seres queridos, y comprender, al mirarla a los ojos, que no sabía quién era yo. Vi cómo se apagaba lentamente en ella la llama de la humanidad. Después de dedicar su vida entera a su familia, en lugar de disfrutar de sus años dorados, la enfermedad le arrebató todos sus preciados recuerdos.

Con la edad, esta triste experiencia que tanta gente de mi generación ha vivido se repetirá en todo el mundo. Ojalá los rápidos avances en neurociencia alivien algún día el sufrimiento de quienes padecen enfermedades mentales o demencia.

¿QUÉ ES LO QUE IMPULSA ESTÁ REVOLUCIÓN?

Se están descodificando los datos obtenidos con los escáneres cerebrales, y el progreso es asombroso. Varias veces al año, los titulares anuncian nuevos avances. Tardamos trescientos cincuenta años desde la invención del telescopio hasta entrar en la era espacial, pero han bastado solo quince desde la aparición de la máquina de imagen por resonancia magnética y otros sofisticados escáneres cerebrales para que conectemos activamente el cerebro con el mundo exterior. ¿Por qué tan rápido y cuánto nos queda por ver?

Este progreso cada vez más rápido se ha producido en parte porque, hoy en día, los físicos entienden bien los mecanismos del electromagnetismo, por el que se rigen las señales eléctricas que recorren nuestras neuronas. Las ecuaciones matemáticas de James Clerk Maxwell, que se utilizan para calcular la física de antenas, radares, receptores de radio y torres de microondas, constituyen la piedra angular de la tecnología de las máquinas de imagen por resonancia magnética. Tardamos siglos en desvelar definitivamente el secreto del electromagnetismo, pero la neurociencia puede ahora sacar provecho de los frutos de esa gran labor. En la primera parte repasaré la historia del cerebro y explicaré cómo una galaxia de nuevos instrumentos ha salido de los laboratorios de física para proporcionarnos fantásticas imágenes en color de la mecánica del pensamiento. Dado que la conciencia desempeña un papel fundamental en cualquier discusión sobre la mente, ofreceré el punto de vista de un físico al respecto, incluida una definición de conciencia que engloba también al mundo animal. De hecho, presentaré una clasificación de conciencias y demostraré que se puede asignar una cifra a los distintos tipos de conciencia.

No obstante, para responder completamente a la cuestión de cómo avanzará esta tecnología, también hemos de tener en cuenta la ley de Moore, que afirma que la potencia de computación se duplica cada dieciocho meses. Mucha gente se sorprende cuando les digo que nuestros teléfonos móviles actuales tienen más potencia de cálculo que la NASA en el momento en que llevó a dos hombres a la Luna en 1969. Los ordenadores tienen ahora capacidad suficiente para registrar las señales eléctricas que emanan del cerebro y descodificarlas parcialmente en un lenguaje digital que entendemos. Esto permite establecer una interfaz directa entre el cerebro y los ordenadores, controlando así cualquier objeto a nuestro alrededor. Este campo, en rápido crecimiento, se conoce como interfaz cerebro-máquina (BMI, por sus siglas en inglés: *Brain-Machine Interface*), y en él la tecnología clave es la del ordenador. En la segunda parte exploraré esta nueva tecnología, que ha hecho posible que registremos los recuerdos, la lectura de la mente, la grabación en vídeo de nuestros sueños y la telequinesia.

En la tercera parte investigaré formas alternativas de conciencia, desde los sueños a las drogas o

las enfermedades mentales, e incluso los alienígenas del espacio exterior. También sobre la posibilidad de controlar y manipular el cerebro para combatir enfermedades como la depresión, el párkinson o el alzhéimer, entre otras muchas. También nos detendremos en el proyecto Investigación del Cerebro Mediante la Mejora de Neurotecnologías Innovadoras (BRAIN, por las siglas en inglés: *Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies*), anunciado por el presidente Obama, y el Proyecto Cerebro Humano de la Unión Europea, que tienen previsto dedicar miles de millones de dólares a la descodificación de las vías nerviosas en el cerebro hasta llegar a la escala neuronal. Sin duda, estos dos programas abrirán áreas de investigación completamente nuevas, nos proporcionarán maneras novedosas de tratar las enfermedades mentales y revelarán también los secretos más profundos de la conciencia.

Como tenemos una definición de conciencia, podemos utilizarla para explorar también la conciencia no humana (por ejemplo, la de los robots). ¿Hasta dónde pueden llegar los robots? ¿Pueden sentir emociones? ¿Serán una amenaza? También exploraremos la conciencia de los extraterrestres, cuyos propósitos podrían ser completamente distintos de los de nuestra propia conciencia.

En el apéndice comentaremos la que posiblemente sea la idea más extraña de toda la ciencia, el concepto de física cuántica, según el cual la conciencia podría ser la base fundamental de toda la realidad.

No escasean las propuestas para sacar provecho de este campo. Solo el tiempo dirá cuáles no son más que ensoñaciones de la imaginación excitada de los autores de ciencia ficción y cuáles representan direcciones prometedoras para la investigación científica del futuro. El progreso en neurociencia ha sido astronómico, y en muchos sentidos la clave ha estado en la física moderna, que emplea toda la potencia de las fuerzas electromagnéticas y nucleares para adentrarse en los grandes secretos ocultos en el interior de nuestra mente.

Me gustaría hacer hincapié en que no soy neurocientífico. Soy un físico teórico interesado desde siempre por la mente. Espero que el punto de vista de un físico pueda contribuir a enriquecer nuestro conocimiento y ofrezca una nueva perspectiva sobre el objeto más familiar y más ajeno del universo: nuestra mente.

Teniendo en cuenta el ritmo vertiginoso al que se desarrollan las nuevas perspectivas, es importante que entendamos bien cómo está estructurado el cerebro. Empecemos, pues, por estudiar los orígenes de la neurociencia moderna, que, según algunos historiadores, comenzó cuando una barra de hierro atravesó el cerebro de un tal Phineas Gage. Este acontecimiento fundacional dio lugar a una reacción en cadena que contribuyó a la investigación científica rigurosa del cerebro. Aunque para el señor Gage fue una desafortunada circunstancia, marcó el camino para la ciencia moderna.

PRIMERA PARTE

LA MENTE Y LA CONCIENCIA

1

Desentrañar el cerebro

> Mi premisa fundamental sobre el cerebro es que su funcionamiento —eso que a veces denominamos «mente»— es consecuencia de su anatomía y fisiología, y de nada más.
>
> CARL SAGAN

En 1848, Phineas Gage trabajaba como capataz ferroviario en Vermont cuando se produjo una explosión accidental de dinamita que lanzó directamente contra su cara una barra de hierro de un metro de longitud, que penetró a través de la zona frontal de su cerebro, salió por la parte superior del cráneo y acabó a más de veinte metros de distancia. Sus compañeros, horrorizados al ver cómo saltaba por los aires parte del cerebro de su capataz, llamaron enseguida a un médico. Para asombro de los trabajadores (e incluso del médico), el señor Gage no murió en el acto.

Pasó varias semanas semiinconsciente, pero después experimentó lo que parecía ser una recuperación completa.[1] (En 2009 apareció una rara fotografía de Gage, en la que se podía ver a un hombre guapo y seguro de sí mismo, con una lesión en la cabeza y en el ojo izquierdo, sosteniendo la barra de hierro.) Pero tras el incidente sus compañeros notaron un cambio brusco en su personalidad. Gage, que era antes un capataz alegre y servicial, se volvió abusivo, hostil y egoísta. Las mujeres sabían que debían alejarse de él. El doctor John Harlow, el médico que lo atendió, observó que Gage era «caprichoso y vacilante. Hace muchos planes de proyectos futuros, pero tan pronto los elabora como los abandona a su vez por otros que parecen más factibles. Posee la capacidad intelectual y el comportamiento de un niño, pero con las pasiones animales de un hombre fuerte»[2] El doctor Harlow señaló que había sufrido un «cambio radical» y que sus compañeros afirmaban que «ese ya no era Gage». Tras la muerte de Gage en 1860, el doctor conservó tanto su cráneo como la barra que había penetrado en él. Más adelante, minuciosos escáneres de rayos X del cráneo han confirmado que la barra de hierro provocó importantes daños en la zona del cerebro conocida como «lóbulo frontal», tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho.

Este increíble accidente no solo cambió la vida de Phineas Gage, sino que también acabaría

alterando el curso de la ciencia. Hasta entonces, el pensamiento dominante consideraba que el cerebro y el alma eran dos entidades separadas, una filosofía denominada «dualismo». Pero cada vez estaba más claro que los daños en el lóbulo frontal del cerebro habían provocado cambios abruptos en la personalidad de Gage. Lo cual, a su vez, dio pie a un cambio de paradigma en el pensamiento científico: quizá fuese posible establecer vínculos entre zonas específicas del cerebro y determinados comportamientos.

EL CEREBRO DE BROCA

En 1861, apenas un año después de la muerte de Gage, esta manera de pensar se vio respaldada por el trabajo de Pierre Paul Broca, un médico que documentó en París la historia de un paciente en apariencia normal, salvo por el hecho de que sufría graves dificultades para hablar. El paciente entendía perfectamente todo aquello que le decían, pero solo podía pronunciar un sonido, la palabra «tan». Tras la muerte del paciente, el doctor Broca confirmó durante la autopsia que aquel sufría una lesión en su lóbulo temporal izquierdo, una región del cerebro situada junto a la oreja izquierda. Más tarde, el doctor Broca confirmaría doce casos parecidos de pacientes con lesiones en esa zona particular del cerebro. Hoy en día, se dice que los pacientes que sufren daños en esa zona padecen «afasia de Broca». (En general, los pacientes que padecen este trastorno pueden comprender la comunicación oral, pero son incapaces de decir nada, o bien omiten muchas palabras al hablar.)

Poco después, en 1874, el médico alemán Carl Wernicke describió a los pacientes que sufrían el problema contrario. Eran capaces de articular las palabras con claridad, pero no podían entender la lengua escrita o hablada. A menudo, estos pacientes podían hablar con fluidez empleando una gramática y una sintaxis correctas, pero utilizando palabras o expresiones sin sentido. Por desgracia, muchos de ellos no eran conscientes de que lo que decían carecía de sentido. Tras realizar las pertinentes autopsias, Wernicke confirmó que los pacientes habrían sufrido daños en una zona ligeramente distinta del lóbulo temporal izquierdo.

Los trabajos de Broca y Wernicke fueron estudios seminales sobre neurociencia y establecieron un claro vínculo entre los problemas conductuales, como las dificultades del habla y el lenguaje, y daños en regiones concretas del cerebro.

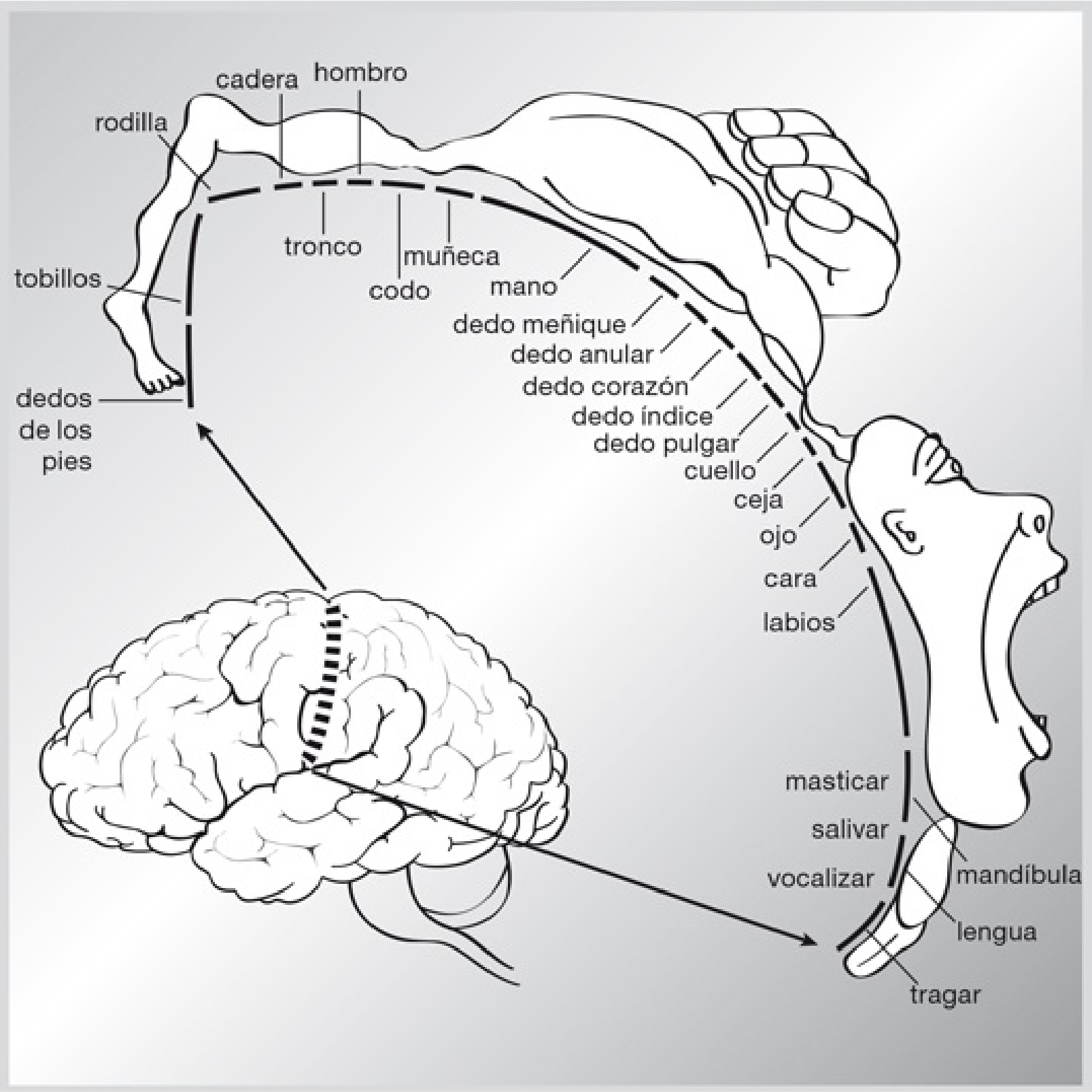
Otro importante avance se produjo en pleno caos provocado por la guerra. A lo largo de la historia no han sido pocos los tabúes religiosos que prohibían la disección del cuerpo humano, lo cual ha supuesto una importante limitación para el progreso de la medicina. Sin embargo, en tiempos de guerra, cuando los soldados morían por decenas de miles en los campos de batalla, encontrar un tratamiento efectivo se convirtió en un objetivo urgente para los médicos. En 1864, durante la guerra prusiano-danesa, el médico alemán Gustav Fritsch trató a muchos soldados con graves heridas en el

cerebro y, casualmente, se dio cuenta de que, cuando tocaba un hemisferio cerebral, a menudo era la parte opuesta del cuerpo la que se retorcía. Más tarde, Fritsch demostró sistemáticamente que, al estimular eléctricamente el cerebro, el hemisferio izquierdo era el que controlaba la parte derecha del cuerpo y viceversa. Fue un descubrimiento sorprendente, que demostraba que la naturaleza del cerebro era esencialmente eléctrica, y que determinada región cerebral controlaba una parte del lado opuesto del cuerpo. (Curiosamente, la primera prueba de la utilización de sondas eléctricas en el cerebro data de dos mil años antes, por parte de los romanos. Hay constancia de que, en el año 43 d. C., el médico de la corte del emperador Claudio aplicó las descargas eléctricas de las rayas torpedo directamente en la cabeza de un paciente que padecía intensos dolores de cabeza.[3]

La idea de que existían vías eléctricas que conectaban el cerebro con el cuerpo no se estudió sistemáticamente hasta la década de 1930, cuando el doctor Wilder Penfield comenzó sus trabajos con pacientes con epilepsia, que a menudo sufrían agotadoras convulsiones y ataques que podían resultar letales. Su última opción era someterse a una cirugía para extraerles trozos del cráneo y dejar al descubierto el cerebro. (Como este no tiene sensores del dolor, una persona puede permanecer consciente durante toda la operación, por lo que el doctor Penfield utilizaba únicamente un anestésico local.)

Penfield comprobó que si estimulaba ciertas zonas de la corteza con un electrodo, respondían distintas partes del cuerpo. Así se dio cuenta de que podía establecer una correspondencia aproximada entre determinadas áreas de la corteza cerebral y partes del cuerpo. Sus dibujos eran tan precisos que hoy siguen utilizándose con pocas modificaciones. Su efecto fue inmediato tanto entre la comunidad científica como entre el público en general. En un diagrama se veía cuál era el área aproximada del cerebro que controlaba cada función, así como la importancia de cada una de estas funciones. Por ejemplo, puesto que las manos y la boca son vitales para nuestra supervivencia, se dedica una cantidad considerable de la potencia cerebral a controlarlas, mientras que a los sensores que tenemos en la espalda apenas se les presta atención.

Asimismo, Penfield descubrió que, cuando estimulaba ciertas áreas del lóbulo temporal provocaba que sus pacientes rememorasen vívidamente recuerdos que habían olvidado mucho tiempo atrás. Le sorprendió ver cómo un paciente, en plena cirugía cerebral, de pronto empezó a balbucear: «Era como si… estuviese en la puerta de mi instituto… He oído a mi madre hablando por teléfono, invitando a mi tía a que viniese a cenar esa noche».[4] Penfield se dio cuenta de que estaba estimulando recuerdos sepultados en las profundidades del cerebro. La publicación de sus resultados, en 1951, desencadenó una nueva transformación en nuestra comprensión del cerebro (véase figura 1).



© Jeffrey Ward

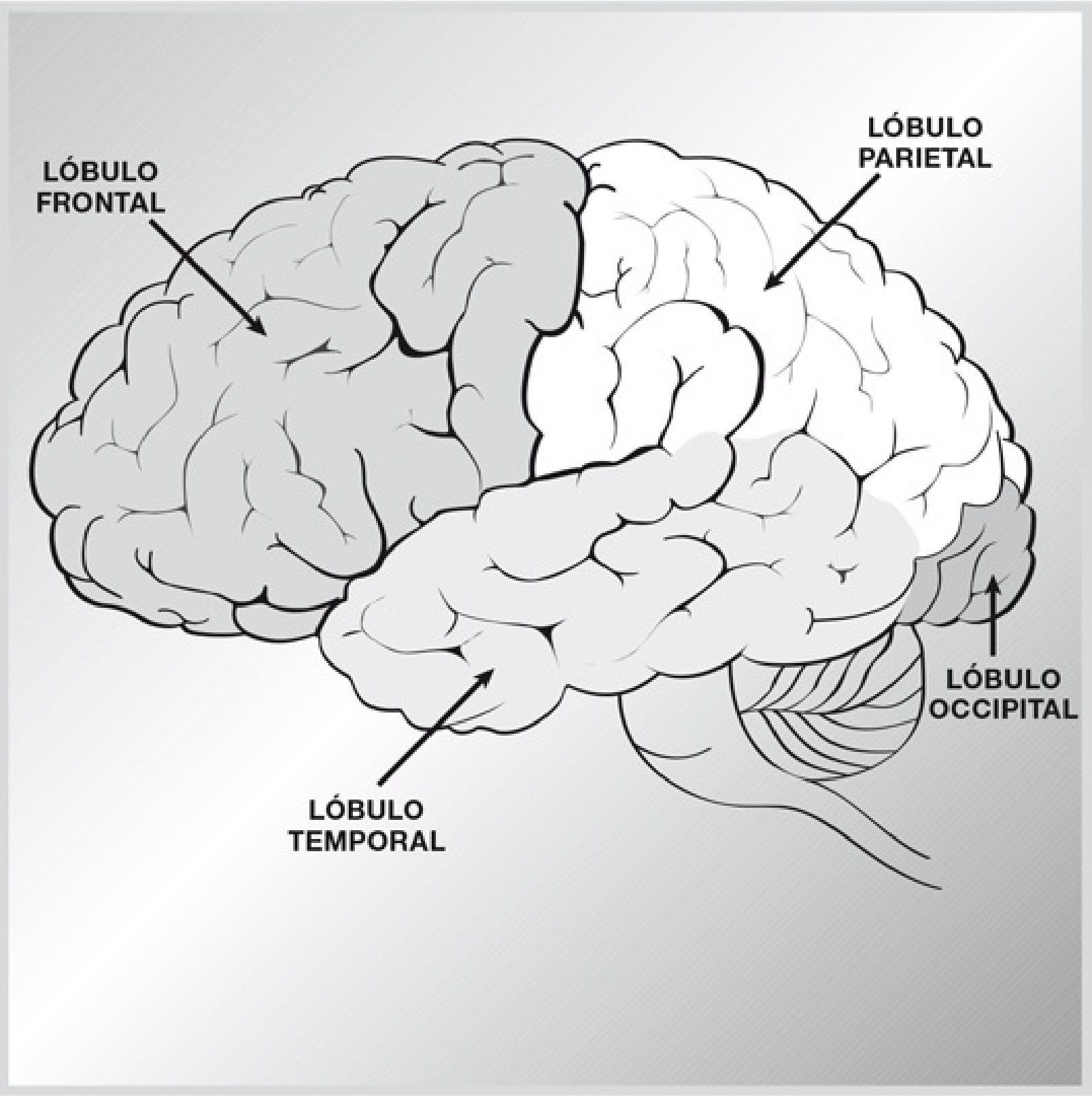
FIGURA 1. Este es el mapa de la corteza motora creado por el doctor Wilder Penfield, que muestra las áreas del cerebro que controlan distintas partes del cuerpo.

UN MAPA DEL CEREBRO

En las décadas de 1950 y 1960 ya era posible trazar a grandes rasgos un mapa del cerebro, localizar

en él distintas partes del cuerpo e incluso identificar las funciones de algunas de ellas.

En la figura 2 podemos ver la neocorteza, la capa más externa del cerebro, dividida en cuatro lóbulos. En los humanos está muy desarrollada. Todos los lóbulos del cerebro se dedican a procesar las señales procedentes de los sentidos, excepto uno: el lóbulo frontal, localizado detrás de la frente. En la corteza prefrontal, la parte delantera del lóbulo frontal, es donde se procesa la mayor parte del pensamiento racional. La información que estamos leyendo ahora mismo se procesa en la corteza prefrontal. Si esa zona sufre daños, estos pueden afectar a nuestra capacidad para hacer planes o proyectar en el futuro, como le sucedió a Phineas Gage. Esta es la región donde se evalúa la información procedente de los sentidos y se determinan las acciones futuras.



© Jeffrey Ward

FIGURA 2. Los cuatro lóbulos de la neocorteza cerebral se encargan de funciones distintas, aunque relacionadas.

El lóbulo parietal está situado en la parte superior del cerebro. El hemisferio derecho controla la atención sensorial y la representación de nuestro propio cuerpo. Las lesiones en esta área pueden provocar muchos problemas, tales como dificultades para localizar partes de nuestro cuerpo.

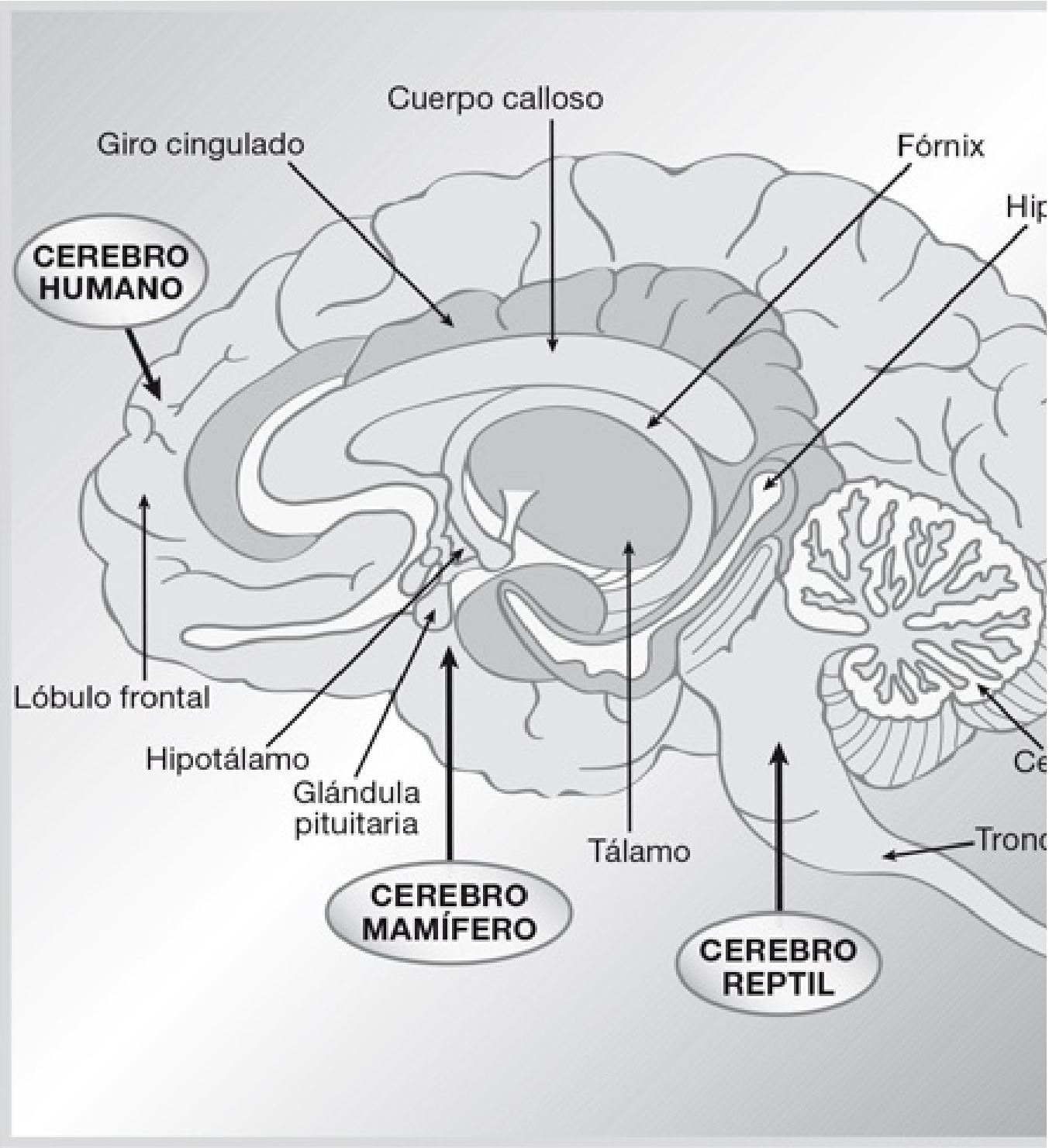
El lóbulo occipital se encuentra en la parte posterior del cerebro y procesa la información visual procedente de los ojos. Las lesiones en esta área pueden provocar ceguera o problemas visuales.

El lóbulo temporal controla el lenguaje (únicamente la parte izquierda), así como el reconocimiento visual de los rostros y determinados sentimientos emocionales. Una lesión en este lóbulo puede hacer que perdamos la capacidad de hablar o que seamos incapaces de reconocer los rostros conocidos.

EL CEREBRO EN EVOLUCIÓN

Cuando nos fijamos en otros órganos del cuerpo, como los músculos, los huesos y los pulmones, no es difícil entender por qué tienen la forma que tienen. Pero la estructura del cerebro puede parecer algo caótica. De hecho, muchos de los intentos de trazar un mapa del cerebro se han tildado de «cartografía para locos».

Para entender la estructura aparentemente arbitraria del cerebro, en 1967 el doctor Paul MacLean, del Instituto Nacional de la Salud Mental aplicó la teoría de la evolución de Charles Darwin al cerebro. Para ello, lo dividió en tres partes. (Desde entonces, varios estudios han demostrado que este modelo se puede refinar, pero lo utilizaremos como principio organizador aproximado para explicar la estructura general del cerebro.) En primer lugar, se dio cuenta de que las partes posterior y central del cerebro, que contienen el tronco encefálico, el cerebelo y los ganglios basales, son prácticamente idénticas al cerebro de los reptiles. Conocidas como «cerebro reptil», son las estructuras más antiguas del cerebro, y dirigen funciones animales básicas como el equilibrio, la respiración, la digestión, los latidos del corazón y la presión sanguínea. También controlan comportamientos como el instinto de lucha, de caza, de apareamiento y la territorialidad, que son necesarios para la supervivencia y la reproducción. El origen del cerebro reptil se puede trazar hasta hace unos quinientos millones de años (véase figura 3).



© Jeffrey Ward

FIGURA 3. La historia evolutiva del cerebro, con el cerebro reptil, el sistema límbico (el cerebro mamífero) y la neocorteza (el cerebro humano). A grandes rasgos, se podría argumentar que la trayectoria de la evolución cerebral pasó del cerebro reptil al mamífero, para llegar al cerebro humano.

Pero, a medida que evolucionamos de reptiles a mamíferos, el cerebro también se volvió más complejo, al evolucionar hacia el exterior y crear estructuras completamente nuevas. Nos encontramos aquí con el «cerebro mamífero», o sistema límbico, que está situado junto al centro del cerebro, alrededor de una parte del cerebro reptil. El sistema límbico está muy desarrollado en los animales que viven en grupos sociales, como los simios. Puesto que las dinámicas de los grupos sociales pueden llegar a ser muy complejas, el sistema límbico es fundamental a la hora de identificar los posibles enemigos, aliados y rivales.

Las partes del sistema límbico que controlan comportamientos cruciales para los animales sociales son:

- El hipocampo. Es la puerta de entrada a la memoria, donde se procesan los recuerdos a corto plazo, que dan lugar a los recuerdos a largo plazo. Su nombre significa «caballito de mar», en referencia a su forma. Una lesión en esta área acabaría con la capacidad de crear nuevos recuerdos a largo plazo y nos convertiría en prisioneros del presente.
- La amígdala. Es aquí donde residen las emociones, en particular el miedo, donde se registran y se generan inicialmente las emociones. Su nombre significa «almendra».
- El tálamo. Es como un repetidor, que recoge las señales sensoriales del tronco encefálico y las reenvía a las distintas cortezas. Su nombre significa «cámara interna».
- El hipotálamo. Regula la temperatura corporal, el ritmo circadiano, el hambre, la sed y determinados aspectos relacionados con la reproducción y con el placer. Está situado bajo el tálamo, de ahí su nombre.

Finalmente, está la tercera y última región del cerebro mamífero, la corteza cerebral, que es la capa más externa del cerebro. Desde un punto de vista evolutivo, la estructura más reciente de la corteza cerebral es la neocorteza («nueva corteza»), que controla los comportamientos cognitivos más elevados. Está especialmente desarrollada en el cerebro humano: constituye casi un 80 por ciento de la masa cerebral, a pesar de que es tan gruesa como una servilleta. En las ratas la neocorteza es plana, pero en los humanos posee muchas circunvoluciones, lo que permite empaquetar una gran superficie en el cráneo humano.

En cierto sentido, el cerebro humano es como un museo que conserva los vestigios de todos los estadios previos de nuestra evolución a lo largo de millones de años, durante los cuales han ido creciendo en funciones y tamaño hacia el exterior y hacia la parte anterior. (Este es también, aproximadamente, el camino que sigue cuando un niño nace. El cerebro del recién nacido crece hacia fuera y hacia la parte frontal, reproduciendo quizá las fases de nuestra evolución.)

Aunque la neocorteza parece poco llamativa, las apariencias engañan. Con un microscopio se puede apreciar la intrincada arquitectura cerebral. La materia gris del cerebro está compuesta por miles de millones de diminutas células cerebrales llamadas «neuronas». Como una gigantesca red telefónica, reciben mensajes de otras neuronas a través de las dendritas, que son como tentáculos que brotan de un extremo de la neurona. En el extremo opuesto se encuentra una fibra alargada denominada axón, que puede llegar a conectar hasta con diez mil neuronas por medio de sus dendritas. En la unión entre ambas existe un minúsculo espacio llamado «sinapsis». Las sinapsis actúan como puertas que regulan el flujo de información en el cerebro. Determinados compuestos químicos, llamados «neurotransmisores», pueden penetrar en la sinapsis y alterar el flujo de las

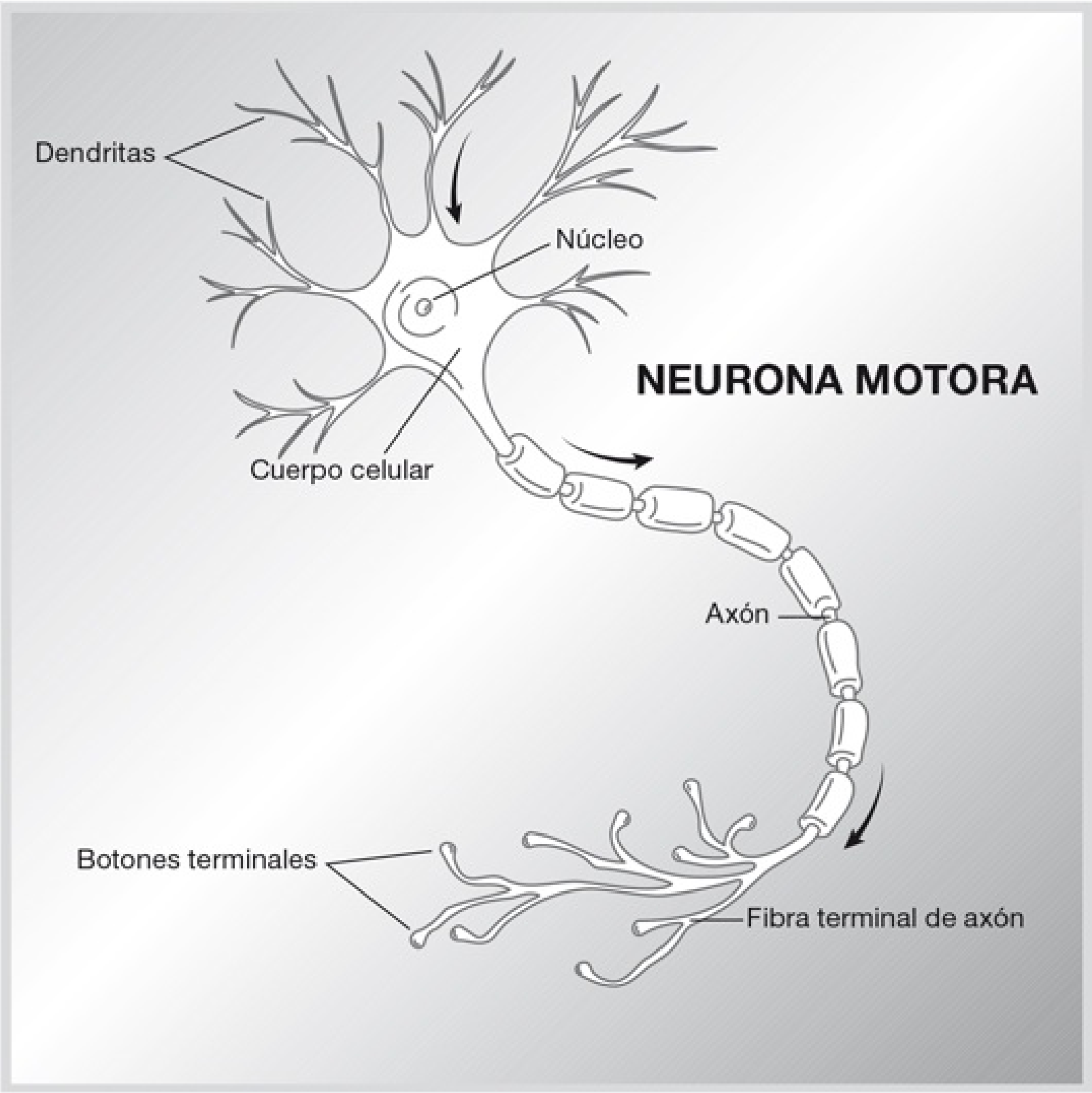
señales. Puesto que los neurotransmisores como la dopamina, la serotonina y la noradrenalina ayudan a controlar el flujo de información que recorre las innumerables vías del cerebro, ejercen un poderoso efecto sobre lo que pensamos y nuestros estados de ánimo (véase figura 4).

Esta descripción del cerebro representa aproximadamente lo que sabíamos de él en la década de 1980. Sin embargo, durante la década de 1990, con la introducción de nuevas tecnologías procedentes del campo de la física, se empezó a revelar en detalle la mecánica de los pensamientos, lo que desencadenó la explosión de descubrimientos científicos que estamos viviendo actualmente. Uno de los pilares de esta revolución ha sido la obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés: *Magnetic Resonance Imaging*).

IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA: UNA VENTANA AL CEREBRO

Para comprender cómo ha contribuido esta nueva y radical tecnología a la descodificación del funcionamiento del cerebro, antes hemos de repasar algunos principios básicos de la física.

Las ondas de radio, un tipo de radiación electromagnética, pueden atravesar los tejidos sin dañarlos. Los aparatos de imagen por resonancia magnética se sirven de este principio, que permite que las ondas electromagnéticas penetren sin problemas en el interior del cráneo. Al hacerlo, esta tecnología nos ha permitido obtener fantásticas imágenes que en otro tiempo habríamos creído imposibles de conseguir: el funcionamiento interno del cerebro mientras experimenta sensaciones y emociones. A partir del parpadeo de las luces en un aparato de imagen por resonancia magnética se puede trazar el recorrido de los pensamientos a través del cerebro. Es como ser capaces de observar el interior de un reloj que marca las horas.



© Jeffrey Ward

FIGURA 4. Diagrama de una neurona. Las señales eléctricas recorren el axón de la neurona hasta que llegan a la sinapsis. Los neurotransmisores pueden regular el flujo de señales eléctricas a través de la sinapsis.

Lo primero que llama la atención de una máquina de imagen por resonancia magnética son las enormes bobinas magnéticas capaces de producir un campo magnético entre veinte y sesenta mil veces más intenso que el terrestre. El imán gigante es uno de los motivos principales por los que uno de estos aparatos puede llegar a pesar una tonelada, ocupar toda una habitación y costar varios

millones de dólares. (Los aparatos de imagen por resonancia magnética son más seguros que los de rayos X porque no emiten iones nocivos. Los escáneres por tomografía computarizada, que también permiten obtener imágenes en 3D, inundan el cuerpo con una dosis de radiación mucho mayor que una máquina normal de rayos X, por lo tanto, deben regularse cuidadosamente. Por el contrario, si se utilizan de forma adecuada, las máquinas de imagen por resonancia magnética son seguras. Un problema, no obstante, son los descuidos de los operarios. Si se pone en funcionamiento en el momento equivocado, el campo magnético posee intensidad suficiente para hacer que el instrumental salga despedido por el aire a gran velocidad. Esto ha provocado lesiones, e incluso muertes.)

Los aparatos de imagen por resonancia magnética funcionan así: el paciente se tumba y es introducido en un cilindro que contiene dos grandes bobinas que generan el campo magnético. Cuando este se activa, los núcleos de los átomos en el interior del cuerpo actúa de manera análoga a la aguja de una brújula: se alinea horizontalmente siguiendo la dirección del campo. A continuación, se genera un pequeño pulso de energía de radio, que hace que algunos de esos núcleos se volteen. Cuando los núcleos vuelven a su posición normal, emiten un pulso secundario de energía de radio, que se analiza en el aparato de imagen por resonancia magnética. Estudiando estos «ecos» se puede reconstruir la ubicación y la naturaleza de los átomos. Como un murciélago, que utiliza el eco para determinar la posición de los objetos que se encuentran en su camino, los ecos que genera el aparato de imagen por resonancia magnética permiten a los científicos recrear una extraordinaria imagen del interior del cerebro. Los ordenadores reconstruyen la posición de los átomos, produciendo como resultado hermosos diagramas en tres dimensiones.

Los primeros aparatos de imagen por resonancia magnética mostraban la estructura estática del cerebro y sus distintas regiones. Sin embargo, a mitad de la década de 1990 se inventó un nuevo método para obtener imágenes por resonancia magnética, llamado «funcional», o fMRI, que detectaba la presencia de oxígeno en la sangre del cerebro. (Para distinguir los distintos tipos de aparatos de imagen por resonancia magnética, los científicos a veces añaden una letra minúscula antes de la sigla MRI, nosotros emplearemos las siglas MRI para referirnos a todas las clases de aparatos.) Los escáneres de imagen por resonancia magnética no pueden detectar directamente el flujo de electricidad en las neuronas; sin embargo, puesto que el oxígeno es necesario para proporcionar energía a las neuronas, a través de la sangre oxigenada se puede trazar indirectamente el flujo de energía eléctrica en ellas, y mostrar cómo interaccionan entre sí las diferentes regiones del cerebro.

Estos escáneres ya han permitido desechar definitivamente la idea de que el pensamiento se ubica en un único centro. En cambio, lo que se observa es que, cuando el cerebro piensa, la energía eléctrica circula a través de las partes que lo componen. Al trazar el recorrido que siguen nuestros pensamientos, los escáneres de imagen por resonancia magnética han aportado nuevos datos sobre la naturaleza del alzhéimer, el párkinson, la esquizofrenia y otras enfermedades mentales.

La gran ventaja de estos aparatos es su sorprendente precisión a la hora de localizar pequeñas áreas del cerebro, incluso de menos de un milímetro. Un escáner de imagen por resonancia magnética permite no solo obtener puntos en una pantalla bidimensional, llamados «píxeles», sino también en un espacio tridimensional, denominados «vóxeles», resultando en un luminoso conjunto tridimensional de decenas de miles de puntos de colores con forma de cerebro.

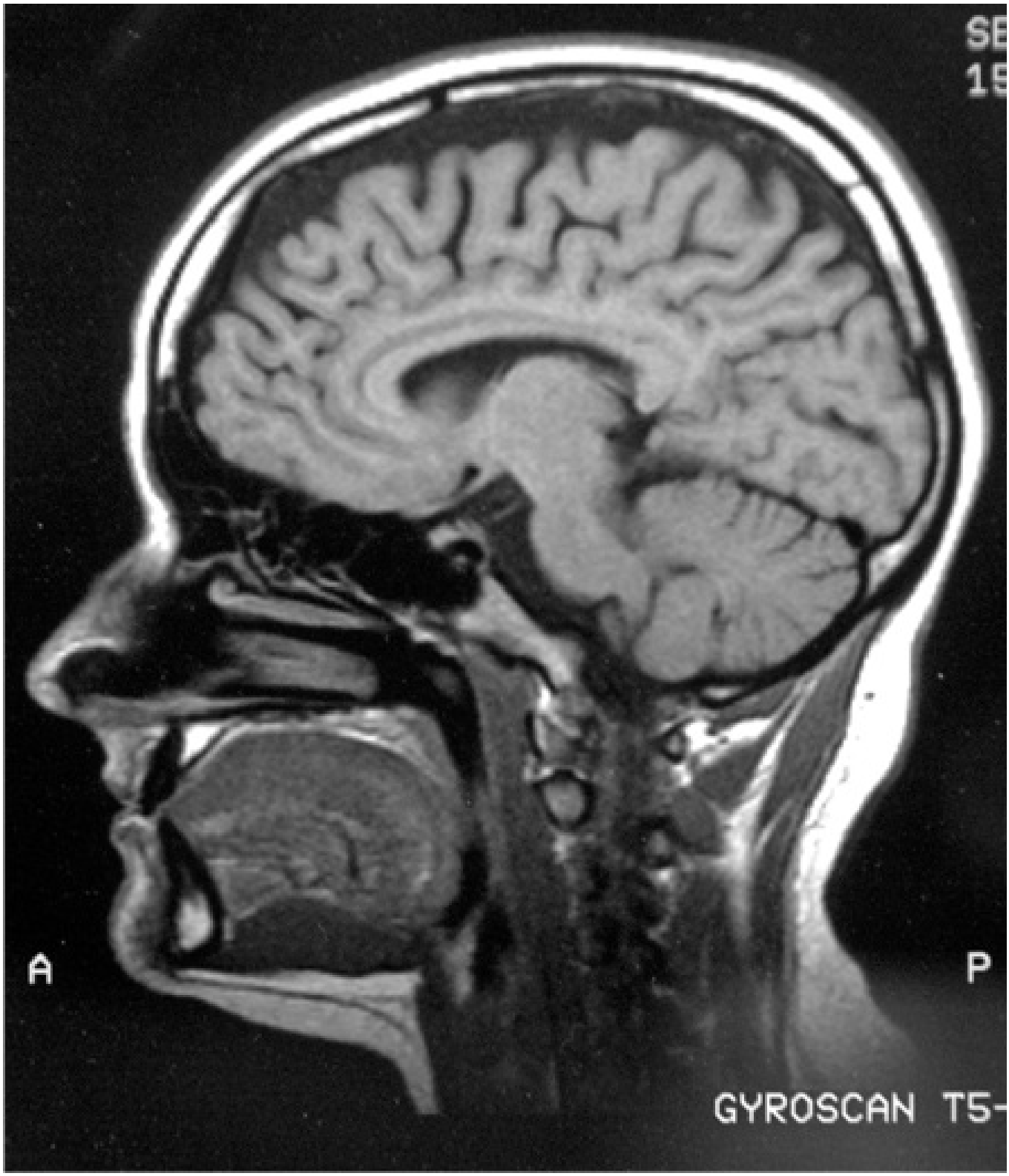
Puesto que los distintos compuestos químicos responden a diferentes frecuencias de radio, variando la frecuencia del pulso de radio se pueden identificar los distintos elementos del cuerpo. Como ya hemos visto, las máquinas de imagen por resonancia magnética funcional se centran en los átomos de oxígeno de la sangre para medir el flujo sanguíneo, pero los aparatos de imagen por resonancia magnética se pueden sintonizar para identificar otros átomos. En la última década, ha aparecido una nueva forma de imagen por resonancia magnética denominada «de difusión» (DTI, por sus siglas en inglés: *Diffusion Tensor Imaging*), que detecta el flujo de agua en el cerebro. Como el agua recorre las vías nerviosas del cerebro, esta nueva técnica permite obtener imágenes fantásticas, que recuerdan a las redes de parras que crecen en un jardín. Los científicos pueden determinar al instante cómo están conectadas entre sí distintas partes del cerebro (véase figura 5).

No obstante, la tecnología de imagen por resonancia magnética presenta algunos inconvenientes. Aunque su resolución espacial es insuperable y permite localizar en tres dimensiones vóxeles del tamaño de la cabeza de un alfiler, su resolución temporal no es tan buena. Se tarda casi un segundo en seguir el recorrido de la sangre por el cerebro, lo que puede que no parezca mucho, pero recordemos que las señales eléctricas recorren el cerebro de manera casi instantánea, por lo que es posible que los escáneres de imagen por resonancia magnética no permitan distinguir los intrincados detalles de los patrones de pensamiento.

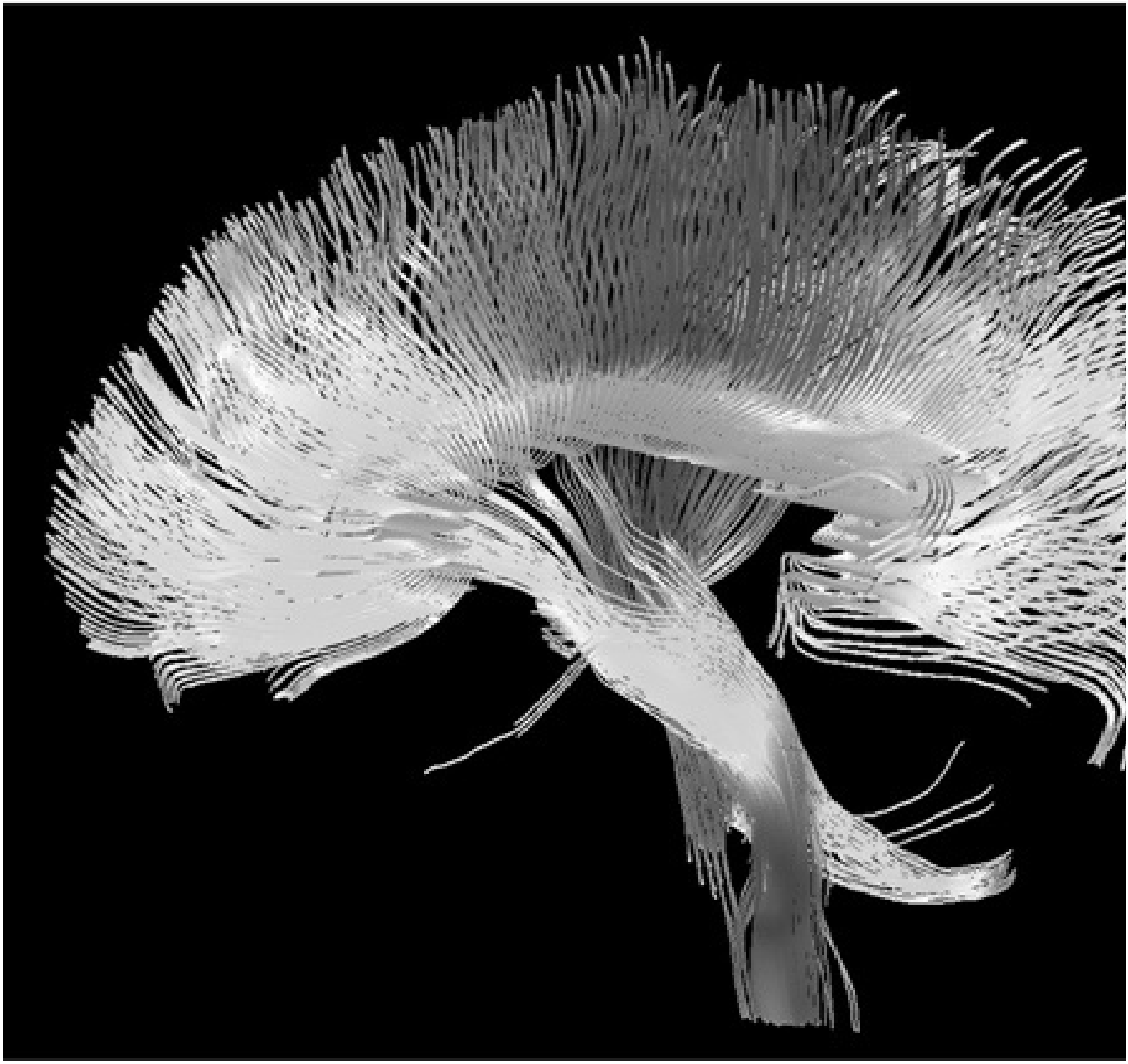
Otro inconveniente es el coste, que se cifra en millones de dólares, por lo que los médicos a menudo se ven obligados a compartir los aparatos. Pero, como sucede con casi toda la tecnología, los avances deberían hacer que, con el tiempo, su precio vaya disminuyendo.

Entretanto, sus desorbitados costes no han detenido la búsqueda de aplicaciones comerciales. Una idea consiste en utilizar los escáneres de imagen por resonancia magnética como detectores de mentiras capaces, según algunos estudios, de identificar falsedades con una precisión del 95 por ciento o superior. El grado de precisión sigue siendo mejorable, pero la idea básica es que, cuando una persona dice una mentira, debe al mismo tiempo saber cuál es la verdad, pensar la mentira y analizar si encaja con los hechos ya conocidos. Actualmente, hay empresas que afirman que la tecnología de imagen por resonancia magnética demuestra que los lóbulos prefrontal y parietal se activan cuando alguien miente. Más concretamente, lo que se activa es la «corteza orbitofrontal» (que, entre otras funciones, puede hacer de «revisor» del cerebro y advertirnos cuando algo no es correcto). Esta zona está situada inmediatamente detrás de las órbitas de los ojos, de ahí su nombre. Según esa teoría, la corteza orbitofrontal comprende la diferencia entre verdad y mentira, y se

acelera en consecuencia. (Hay otras áreas del cerebro que también se activan cuando alguien miente, como las cortezas superior medial e inferolateral prefrontal, que intervienen en el proceso cognitivo.)



AP Photo/David Duprey



Tom Barrick, Chris Clark/Science Source

FIGURA 5. La imagen superior, obtenida con un aparato de resonancia magnética funcional, refleja regiones de alta actividad mental. La imagen inferior, cuya forma es similar a una flor, ha sido generada por un aparato de resonancia magnética por difusión, capaz de seguir las vías nerviosas y las conexiones del cerebro.

En la actualidad, varias compañías ofertan aparatos de imagen por resonancia magnética que funcionan como detectores de mentiras, y los tribunales están empezando a tratar casos en los que se utilizan. Pero es importante señalar que lo que estas imágenes por resonancia magnética indican es un aumento de la actividad cerebral únicamente en determinadas áreas. Aunque los resultados de ADN a veces pueden alcanzar una precisión de una parte en diez mil millones, o incluso superior, no sucede lo mismo con las imágenes por resonancia magnética, porque en la invención de una mentira intervienen muchas áreas del cerebro, que también se encargan de procesar otro tipo de pensamientos.

ESCÁNERES ELECTROENCEFALOGRÁFICOS

Otra herramienta útil para explorar las profundidades del cerebro es la electroencefalografía (EEG). Aunque se utilizó por primera vez nada menos que en 1924, solo en fechas recientes ha sido posible utilizar ordenadores para poner orden en los datos que se recogían mediante los electrodos.

Para utilizar el aparato de electroencefalografía, el paciente normalmente se pone un casco de aspecto futurista cuya superficie está llena de electrodos. (Las versiones más evolucionadas utilizan una redecilla con una serie de pequeños electrodos que se coloca sobre la cabeza.) Estos electrodos detectan las minúsculas señales eléctricas que circulan por el cerebro.

Un electroencefalograma se diferencia de una resonancia magnética en varios aspectos fundamentales. Esta última, como hemos visto, envía pulsos de radio al cerebro y analiza los «ecos» que retornan. Eso significa que, modificando el pulso, se puede elegir qué átomos se estudian, lo que hace que sea muy versátil. El aparato de electroencefalografía, por su parte, es exclusivamente pasivo: analiza las diminutas señales electromagnéticas que el cerebro emite de manera natural. La electroencefalografía destaca por su capacidad para registrar las señales electromagnéticas de amplio espectro que emite el cerebro en su conjunto, lo que permite a los científicos medir la actividad general del cerebro cuando este duerme, se concentra, se relaja, sueña, etcétera. Los diferentes estados de la conciencia vibran a distintas frecuencias. Por ejemplo, el sueño profundo se corresponde con las ondas delta, que vibran entre 0,1 y 4 ciclos por segundo. Los estados mentales activos, como la resolución de problemas, se corresponden con las ondas beta, que oscilan entre 12 y 30 ciclos por segundo. Estas vibraciones permiten que las distintas partes compartan información y se comuniquen entre sí, aun cuando estén situadas en extremos opuestos del cerebro. Y, mientras que las imágenes por resonancia magnética que miden el flujo sanguíneo solo se pueden tomar varias veces por segundo, los electroencefalogramas miden la actividad eléctrica al instante.

Pero las mayores ventajas de los electroencefalogramas son su facilidad de uso y su coste. Incluso alumnos de secundaria han hecho experimentos en sus casas con sensores de electroencefalografía puestos en la cabeza.

Sin embargo, el mayor inconveniente de la electroencefalografía, que ha frenado su desarrollo durante décadas, es su muy baja resolución espacial. El electroencefalograma recoge señales eléctricas que se han dispersado al atravesar el cráneo. Viendo el resultado de las enmarañadas señales del electroencefalograma, resulta prácticamente imposible determinar con certeza qué parte del cerebro las ha generado. Además, cualquier pequeña agitación, como el movimiento de un dedo, puede distorsionar la señal, e incluso hacerla inservible.

ESCÁNERES PET

Otra herramienta útil procedente del mundo de la física es la tomografía por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés: *positron emission tomography*), que calcula el flujo de energía en el cerebro localizando la presencia de glucosa, la molécula de azúcar que sirve de combustible para las células. Como la cámara de niebla que fabriqué cuando estaba en secundaria, los escáneres de tomografía por emisión de positrones hacen uso de las partículas subatómicas emitidas por el sodio 22 que contiene la glucosa. Como primer paso para realizar un escáner de tomografía por emisión de positrones, se le inyecta al paciente una solución especial que contiene un tipo de azúcar ligeramente radiactivo. Los átomos de sodio en el interior de la molécula de azúcar se han sustituido por átomos de sodio 22, que es radiactivo. Cada vez que un átomo de sodio se desintegra emite un electrón positivo, o positrón, que es fácil de detectar con los sensores. Siguiendo el rastro de los átomos de sodio radiactivo en el azúcar podemos trazar el flujo de energía en un cerebro vivo.

Los escáneres de tomografía por emisión de positrones poseen muchas de las ventajas de las imágenes por resonancia magnética, pero no tienen la fina resolución espacial de una imagen de resonancia magnética. No obstante, en lugar de medir el flujo sanguíneo, que es un indicador indirecto del consumo de energía en el cuerpo, los escáneres de tomografía por emisión de positrones miden directamente dicho consumo, por lo que son más fieles a la actividad neuronal.

Sin embargo, los escáneres de tomografía por emisión de positrones tienen otro inconveniente. A diferencia de las imágenes por resonancia magnética y los electroencefalogramas, son ligeramente radiactivos, por lo que a los pacientes no se les puede someter a ellos continuamente. En general, no está permitido que una persona se someta a un escáner de tomografía por emisión de positrones más de una vez al año, debido al pequeño, aunque en absoluto despreciable, riesgo de irradiación.

MAGNETISMO EN EL CEREBRO

En los últimos diez años se han incorporado al elenco de herramientas de los neurocientíficos muchos aparatos de alta tecnología, incluidos el escáner electromagnético transcraneal (TES, por sus siglas en inglés: *Transcranial Electromagnetic Scanner*), la magnetoencefalografía (MEG), la espectroscopía de infrarrojos cercanos (NIRS, por sus siglas en inglés: *Near-InfraRed Spectroscopy*) y la optogenética, entre otros.

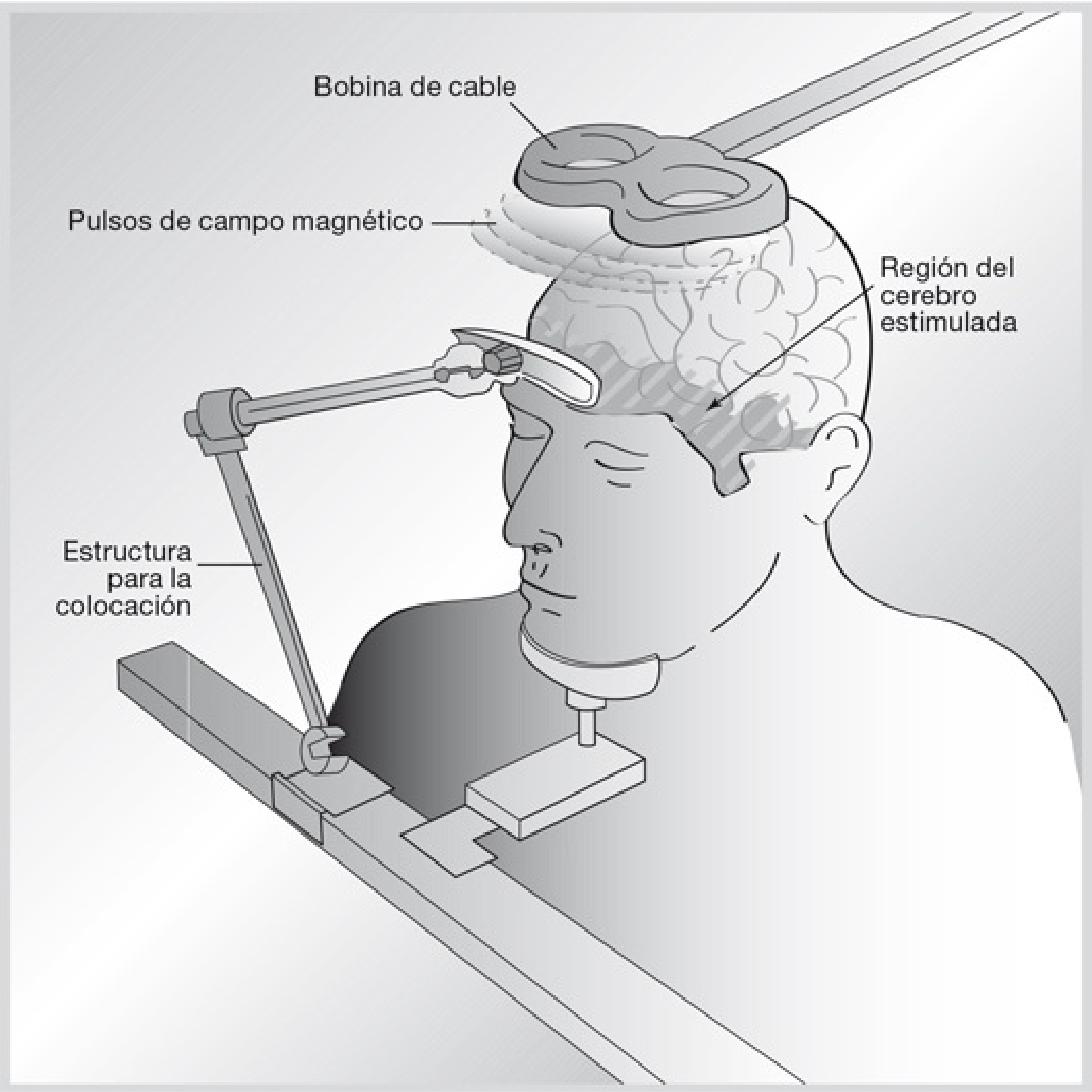
En particular, el magnetismo se ha utilizado para desactivar sistemáticamente ciertas áreas del cerebro sin necesidad de una intervención quirúrgica. Todas estas nuevas herramientas se basan en la propiedad física según la cual un campo eléctrico que varía rápidamente crea un campo magnético, y viceversa. Los magnetoencefalogramas miden pasivamente el campo magnético que produce en el cerebro un campo eléctrico variable. Estos campos magnéticos son débiles y de muy corto alcance,

apenas una mil millonésima del campo magnético terrestre. Como la electroencefalografía, la magnetoencefalografía ofrece una excelente resolución temporal, de hasta una milésima de segundo. Su resolución espacial, no obstante, es de tan solo un centímetro cúbico.

A diferencia de las mediciones pasivas de la magnetoencefalografía, el escáner electromagnético transcraneal genera un gran pulso de electricidad, que a su vez crea una descarga de energía magnética (véase figura 6). El escáner electromagnético transcraneal se coloca junto al cerebro, para que el pulso magnético penetre en el cráneo y cree otro pulso eléctrico en su interior. Ese pulso eléctrico secundario es suficiente para reducir la actividad o desactivar determinadas áreas del cerebro.

Históricamente, los científicos han tenido que recurrir a derrames cerebrales o tumores para silenciar ciertas áreas del cerebro y así poder determinar cuál es su función. Pero, con el escáner electromagnético transcraneal, se puede desactivar o reducir la actividad de las áreas del cerebro a voluntad sin causar daño alguno. Haciendo incidir energía magnética sobre un punto concreto del cerebro, se puede establecer su función simplemente con observar cómo ha variado el comportamiento de la persona. (Por ejemplo, si se lanzan pulsos magnéticos contra el lóbulo temporal izquierdo, se verá cómo esto afecta negativamente a nuestra capacidad de hablar.)

Un posible inconveniente del escáner electromagnético transcraneal es que estos campos magnéticos no penetran demasiado en el interior del cerebro (porque se amortiguan mucho más rápido que con el cuadrado del inverso de la distancia, que es lo habitual para la electricidad). El escáner electromagnético transcraneal es muy útil para neutralizar áreas del cerebro cercanas al cráneo, pero el campo magnético es incapaz de alcanzar centros importantes que están ubicados en zonas más profundas del cerebro, como el sistema límbico. No obstante, las próximas generaciones de dispositivos electromagnéticos transcraneales podrían superar este problema técnico aumentando la intensidad y precisión del campo magnético.



© Jeffrey Ward

FIGURA 6. Vemos aquí el escáner electromagnético transcraneal y el magnetoencefalógrafo, basado en el magnetismo, en lugar de ondas de radio, para penetrar en el cráneo y determinar la naturaleza de los pensamientos en el cerebro. El magnetismo puede silenciar temporalmente ciertas áreas del cerebro, lo que permite a los científicos averiguar cómo funcionan dichas áreas sin necesidad de recurrir a derrames cerebrales.

ESTIMULACIÓN CEREBRAL PROFUNDA

Otra herramienta que ha resultado ser fundamental para los neurólogos es la estimulación cerebral

profunda (DBS, por sus siglas en inglés: *Deep Brain Stimulation*). Las primeras sondas que utilizó el doctor Penfield eran relativamente rudimentarias. Hoy en día, los electrodos pueden ser del grosor de un cabello y pueden llegar a zonas muy profundas del cerebro. Esto no solo ha permitido a los científicos determinar la función de varias partes del cerebro, sino que también puede utilizarse para tratar trastornos mentales. La estimulación cerebral profunda ya ha demostrado su eficacia en el párkinson, en que ciertas regiones cerebrales se vuelven hiperactivas, lo que a menudo da lugar a temblores involuntarios de las manos.

Más recientemente, estos electrodos se han aplicado a otra zona del cerebro (llamada área de Brodmann número 25), que suele presentar hiperactividad en pacientes deprimidos que no responden a la psicoterapia ni a los medicamentos. Para estos sufridos pacientes, la estimulación cerebral profunda ha sido una fuente de alivio casi milagroso tras décadas de tormento y agonía.

Cada año se encuentran nuevas aplicaciones para la estimulación cerebral profunda. De hecho, prácticamente todos los trastornos cerebrales más importantes se están reexaminando a la luz de esta y de otras nuevas tecnologías de escáneres cerebrales. Este es un campo prometedor para el diagnóstico e incluso el tratamiento de enfermedades.

OPTOGENÉTICA - ILUMINANDO EL CEREBRO

Pero puede que la herramienta más nueva y excitante con la que cuentan los neurólogos sea la optogenética, algo que en otros tiempos se consideró ciencia ficción. Como una varita mágica, permite activar ciertas vías que controlan nuestro comportamiento haciendo incidir un haz de luz sobre el cerebro.

Sorprendentemente, se puede introducir directamente en una neurona, con precisión quirúrgica, un gen sensible a la luz que hace que la célula se dispare. A continuación, se enciende el haz de luz y la neurona se activa. Y, lo que es más importante, esto permite a los científicos excitar esos recorridos, de manera que pueden activar y desactivar determinados comportamientos con pulsar un interruptor.

Aunque esta tecnología solo tiene diez años, la optogenética ya ha logrado controlar con éxito ciertos comportamientos animales. Pulsando un interruptor, se puede hacer que las moscas de la fruta salgan súbitamente volando, que los gusanos dejen de agitarse y que los ratones se pongan a correr en círculos como locos. Ahora están empezando los experimentos con monos, e incluso se habla de realizarlos con humanos. Hay muchas esperanzas depositadas en las posibles aplicaciones de esta tecnología para el tratamiento de trastornos como el párkinson y la depresión.

EL CEREBRO TRANSPARENTE

Como la optogenética, otro avance espectacular ha hecho que el cerebro se vuelva completamente transparente y que sus vías nerviosas puedan observarse a simple vista. En 2013, científicos de la Universidad de Stanford anunciaron que habían conseguido volver transparente el cerebro de un ratón, así como partes de un cerebro humano. El anuncio resultó tan sorprendente que llegó a la portada de *The New York Times* con el titular: «LOS CIENTÍFICOS PODRÁN EXPLORAR EL CEREBRO COMO SI FUERA GELATINA TRANSPARENTE».[5]

A escala celular, cada célula por separado es transparente, y todos sus componentes microscópicos están completamente a la vista. Sin embargo, cuando miles de millones de células se unen para formar órganos como el cerebro, la adición de lípidos (grasas, aceites, ceras y compuestos químicos no solubles en agua) contribuye a hacer que el órgano sea opaco. La clave de esta nueva técnica consiste en eliminar los lípidos dejando las neuronas intactas. Los científicos de Stanford lo consiguieron introduciendo el cerebro en hidrogel (una sustancia parecida a un gel compuesta en su mayor parte por agua), que establece vínculos con todas las moléculas del cerebro, salvo con los lípidos. Si se introduce el cerebro en una solución jabonosa y se aplica un campo eléctrico, se puede lavar la solución, que arrastra con ella los lípidos, dejando así el cerebro transparente. Si se añaden tintes, se pueden volver visibles las vías nerviosas.

Hacer que un tejido se vuelva transparente no es nada nuevo, pero fue necesaria una gran inventiva para conseguir establecer las condiciones precisas necesarias para lograr que todo el cerebro se volviese transparente. «Quemé y derretí más de cien cerebros», confesó el doctor Kwanghun Chung, uno de los directores científicos del estudio. La nueva técnica, denominada Clarity (Claridad), también se puede aplicar a otros órganos (incluso a aquellos que llevan años conservados en compuestos como el formaldehído). El doctor Chung ya ha conseguido crear hígados, pulmones y corazones transparentes. Esta nueva técnica tiene aplicaciones sorprendentes en toda la medicina.

LAS CUATRO FUERZAS FUNDAMENTALES

El éxito de esta primera generación de escáneres cerebrales ha sido espectacular. Antes de su aparición, solo se conocían con algún grado de certeza alrededor del 30 por ciento de las regiones del cerebro. Hoy en día, simplemente con una máquina de imagen por resonancia magnética se pueden identificar entre doscientas y trescientas regiones, lo que abre fronteras completamente nuevas para la ciencia del cerebro. Con tantas nuevas tecnologías procedentes de la física como se han introducido en los últimos quince años, cabe preguntarse: ¿hay más aún? La respuesta es afirmativa, pero serán variaciones y refinamientos de las anteriores, no tecnologías radicalmente nuevas. Esto se debe a que son solo cuatro las fuerzas fundamentales que rigen el universo: la

gravitatoria, la electromagnética, la nuclear débil y la nuclear fuerte. (Los físicos han intentado encontrar evidencias de una quinta fuerza, pero hasta el momento todos los intentos han fracasado.)

La fuerza electromagnética, que ilumina nuestras ciudades y representa la energía de la electricidad y el magnetismo, es el origen de casi todas las nuevas tecnologías de escaneado (a excepción del escáner de tomografía por emisión de positrones, gobernado por la fuerza nuclear débil). Como los físicos llevan más de ciento cincuenta años trabajando con la fuerza electromagnética, crear nuevos campos eléctricos y magnéticos no tiene ningún misterio, por lo que cualquier nueva tecnología de escaneado del cerebro será con toda probabilidad una modificación de alguna ya existente, en lugar de algo completamente nuevo. Como sucede con casi todas las tecnologías, el tamaño y el coste de las máquinas se reducirán, lo que provocará que aumente en gran medida el uso de estos sofisticados instrumentos. Los físicos ya están llevando a cabo los cálculos fundamentales necesarios para incorporar un aparato de imagen por resonancia magnética en un teléfono móvil. Al mismo tiempo, la dificultad principal a la que se enfrentan estos escáneres cerebrales es la resolución, tanto espacial como temporal. La resolución espacial de los escáneres de imagen por resonancia magnética será mayor cuanto más uniforme sea el campo magnético y más sensible sea la electrónica. En la actualidad, los escáneres de imagen por resonancia magnética solo son capaces de detectar puntos o vóxeles dentro de una fracción de un milímetro. Pero cada punto puede contener cientos o miles de neuronas. La nueva tecnología de escaneado debería reducir este número aún más. El santo grial, desde este punto de vista, consistiría en crear un aparato similar a los de imagen por resonancia magnética capaz de identificar las neuronas individuales y sus conexiones.

La resolución temporal de las máquinas de imagen por resonancia magnética también se ve limitada porque analizan el flujo de sangre oxigenada en el cerebro. La máquina en sí posee una excelente resolución temporal, pero el seguimiento del rastro del flujo sanguíneo la ralentiza. En el futuro, otros aparatos de imagen por resonancia magnética serán capaces de localizar distintas sustancias que guarden una relación más directa con la activación de las neuronas, lo que permitirá analizar los procesos mentales en tiempo real. Por espectaculares que resulten los éxitos de los últimos quince años, no son más que un aperitivo de lo que está por llegar.

NUEVOS MODELOS DEL CEREBRO

Históricamente, cada nuevo descubrimiento científico ha dado lugar a un nuevo modelo del cerebro. Uno de los primeros fue el «homúnculo», un hombrecito que vivía en el interior del cerebro y tomaba todas las decisiones. Esta representación no era muy útil, ya que no explicaba lo que sucedía en el cerebro del homúnculo. Quizá en el cerebro del homúnculo se ocultase a su vez otro homúnculo.

Con la llegada de los primeros dispositivos mecánicos sencillos, se propuso otro modelo: el cerebro como máquina, como un reloj, con ruedecillas y engranajes mecánicos. Esta analogía resultó útil para científicos e inventores como Leonardo da Vinci, quien, de hecho, diseñó un hombre mecánico.

A finales del siglo XIX, cuando la máquina de vapor estaba forjando nuevos imperios, surgió otra analogía: el cerebro como máquina de vapor, con flujos de energía que competían entre sí. Este modelo hidráulico, en opinión de los historiadores, influyó sobre la idea que Sigmund Freud tenía del cerebro, en la que existían tres fuerzas en lucha continua: el ego (que representaba el yo y el pensamiento racional), el ello (representación de los deseos reprimidos) y el superego (que representaba la conciencia). Según este modelo, si debido a un conflicto entre estas tres fuerzas se acumulaba una presión excesiva, podía producirse una regresión o una quiebra general de todo el sistema. El modelo era ingenioso, pero, como reconoció incluso el propio Freud, necesitaba de análisis detallados del cerebro a escala neuronal, algo para lo que aún habría que esperar cien años.

A principios del siglo pasado, con la irrupción del teléfono, se implantó otra analogía: el cerebro como una centralita telefónica gigante. El cerebro era una gran red de líneas telefónicas interconectadas. La conciencia era una larga fila de operadoras telefónicas sentadas frente a un gran panel de clavijas, desconectando y conectando cables continuamente. Por desgracia, este modelo no decía nada sobre la manera en que estos mensajes se hilvanaban entre sí para formar el cerebro.

Con la aparición del transistor, de nuevo cambió el modelo dominante: ahora era el cerebro como ordenador. Las antiguas centralitas se sustituyeron por microchips que contenían cientos de millones de transistores. Quizá la «mente» no era más que un programa de software que se ejecutaba sobre «*wetware*» (esto es, sobre el tejido cerebral, en lugar de transistores). Este modelo aún perdura, aunque tiene sus limitaciones. No puede explicar cómo hace el cerebro para realizar cálculos que requerirían un ordenador del tamaño de Nueva York. Además, no hay programas cerebrales, el cerebro no tiene un sistema operativo como Windows, ni un chip Pentium. (Un ordenador con un chip Pentium es muy rápido, pero tiene un cuello de botella: todos los cálculos deben pasar por ese único procesador. En el cerebro sucede lo contrario: la activación de cada neurona es relativamente lenta, pero esto se compensa con creces al tener cien mil millones de neuronas que procesan datos simultáneamente. De manera que un procesador lento pero paralelo puede superar a un único procesador muy veloz.)

La analogía más reciente es la de internet, que conecta entre sí miles de millones de ordenadores. La conciencia, según esta representación, es un fenómeno «emergente», que surge milagrosamente a partir de la acción colectiva de miles de millones de neuronas. (El problema de esta imagen es que no dice absolutamente nada sobre cómo se produce este milagro. Barre toda la complejidad del cerebro bajo la alfombra de la teoría del caos.)

No cabe duda de que cada una de estas analogías tienen su parte de verdad, pero ninguna de ellas

recoge realmente la complejidad del cerebro. Sin embargo, la analogía que a mí me parece útil (aunque imperfecta) es la del cerebro como una gran empresa. Según esta analogía, existe una gran burocracia y líneas de autoridad, con enormes flujos de información canalizados entre distintas oficinas. Pero la información importante acaba llegando al centro de mando, donde se encuentra el consejero delegado (CEO, por sus siglas en inglés: *Chief Executive Officer*). Es ahí donde se toman las decisiones finales.

Si esta analogía es válida, debería permitir explicar determinadas características peculiares del cerebro:

- La mayor parte de la información es «subconsciente», es decir, el consejero delegado no es consciente del flujo continuo de información, enorme y complejo, hacia su aparato burocrático. De hecho, únicamente una minúscula proporción de información acaba llegando a su mesa, que se puede comparar con el lóbulo prefrontal. El consejero delegado solo debe tener conocimiento de la información suficientemente importante para ocupar su atención, pues de lo contrario se vería paralizado por una avalancha de información irrelevante.
- (Esta disposición probablemente sea un subproducto de la evolución, puesto que a nuestros antepasados los habría abrumado la marea de información superflua e inconsciente que llegaría al cerebro cuando tuviesen que hacer frente a una emergencia. Por suerte, todos ignoramos los billones de cálculos que nuestro cerebro procesa. Cuando nos topamos con un tigre en el bosque no necesitamos preocuparnos por el estado de nuestro estómago, los dedos de los pies, el pelo, etcétera. Lo que único que necesitamos saber es que tenemos que salir corriendo.)
- Las «emociones» son decisiones rápidas que se toman de manera independiente a un nivel inferior. Puesto que el pensamiento racional requiere muchos segundos, esto significa que a menudo es imposible dar una respuesta razonada a una emergencia. De ahí la necesidad de que áreas del cerebro de más bajo nivel evalúen rápidamente la situación y tomen una decisión, una emoción, sin permiso de los niveles superiores.
- De manera que las emociones (el miedo, la ira, el pánico, etcétera) son luces rojas instantáneas, producidas por la evolución, que se activan a un nivel más bajo para advertir al centro de mando sobre una posible situación peligrosa o grave. Tenemos poco control consciente sobre las emociones. Por ejemplo, por mucho que practiquemos, siempre estaremos nerviosos antes de hablar en público ante una numerosa concurrencia.
- Rita Carter, autora de *El nuevo mapa del cerebro*, escribe: «Las emociones no son en absoluto sentimientos, sino un conjunto de mecanismos de supervivencia arraigados en el cuerpo que hemos desarrollado para mantenernos alejados del peligro y para impulsarnos hacia cosas que pueden resultarnos beneficiosas».[6]
- Existe un clamor continuo para llamar la atención del consejero delegado. No existe un único

homúnculo, CPU o chip Pentium que toma las decisiones, sino que los distintos subcentros dentro del centro de mando compiten continuamente entre sí, buscando llamar la atención del consejero delegado. Por lo tanto, no existe una línea continua de pensamiento, sino una cacofonía de diferentes bucles de retroalimentación que compiten los unos con los otros. La noción del «yo» como un todo único y unificado que toma todas las decisiones de manera continua es una ilusión creada por nuestra propia mente subconsciente.

- Sentimos que nuestra mente es una única entidad, que procesa información de manera continua y sostenida y que controla por completo nuestras decisiones. Pero la imagen que nos ofrecen los escáneres cerebrales es muy distinta de esta percepción.
- El profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts, Marvin Minsky, uno de los creadores de la inteligencia artificial, me dijo que la mente es más bien como una «sociedad de mentes», con distintos submódulos que tratan de competir entre sí.[7]
- Cuando entrevisté a Steven Pinker, un psicólogo de la Universidad de Harvard, le pregunté cómo surge la conciencia de todo este desorden. Me dijo que la conciencia es como una tormenta desatada en nuestro cerebro.[8] Desarrolló esta idea al escribir: «La sensación intuitiva de que hay un "yo" ejecutivo en la sala de control de nuestro cerebro, atento a las pantallas de los sentidos, que pulsa los botones de nuestros músculos, es una ilusión.[9] Resulta que la conciencia consiste en un torbellino de eventos distribuidos por todo el cerebro. Estos eventos compiten por la atención, y cuando uno de los procesos se impone sobre el resto, el cerebro racionaliza el resultado a posteriori y crea la sensación de que un único yo controlaba la situación desde el principio».[10]
- Las decisiones últimas las toma el consejero delegado en el centro de mando. Casi toda la burocracia se dedica a acumular y recopilar información para él, que solo se reúne con los directores de cada división. El consejero delegado trata de mediar entre las informaciones contradictorias que llegan al centro de mando. Pero hasta ahí llega la cosa. Él tiene que tomar la decisión final. Aunque los animales toman la mayoría de sus decisiones por instinto, los humanos podemos hacerlo a un nivel más alto, tras analizar las informaciones que recibimos de los sentidos. Análogamente, las decisiones finales las toma el consejero delegado del cerebro, que está situado en la corteza prefrontal.
- Los flujos de información son jerárquicos. Debido a la enorme cantidad de información que debe ascender hacia la oficina del consejero delegado o descender hacia el personal de apoyo, dicha información debe organizarse en complejas distribuciones de redes anidadas, con múltiples ramas. Pensemos en un pino, con el centro de mando en la copa y una pirámide de ramas que fluye hacia abajo, con conexiones con numerosos subcentros.
- Existen, por supuesto, diferencias entre una burocracia y la estructura del pensamiento. La primera regla de toda burocracia es que «se expande hasta ocupar todo el espacio que se le ha

asignado». Pero malgastar energía es un lujo que el cerebro no se puede permitir. El cerebro consume únicamente alrededor de veinte vatios de potencia (la misma que una bombilla poco brillante), pero ese es probablemente el máximo que puede consumir antes de que el cuerpo se vuelva disfuncional. Si generase más calor, provocaría daños en los tejidos. Por lo tanto, el cerebro utiliza continuamente trucos para conservar energía. A lo largo del libro veremos los ingeniosos mecanismos que la evolución ha desarrollado, sin nuestro conocimiento, para economizar.

¿ES REALMENTE REAL LA «REALIDAD»?

Todo el mundo conoce la expresión «ver para creer». Y, sin embargo, mucho de lo que vemos es en realidad una ilusión. Por ejemplo, cuando vemos el típico paisaje, nos parece un escenario continuo, de película. En realidad, en nuestro campo de visión hay un gran punto ciego, que se corresponde con la ubicación del nervio óptico en la retina. Deberíamos ver esta gran mancha negra y fea dondequiera que miremos, pero el cerebro disimula calculando un promedio. Eso significa que parte de nuestra visión es en realidad una falsificación que nuestra mente subconsciente produce para engañarnos.

Además, solo vemos con claridad el centro de nuestro campo de visión, denominado «fóvea». La zona periférica está borrosa, para ahorrar energía. Pero la fóvea es muy pequeña. Para recopilar tanta información como sea posible, teniendo en cuenta el diminuto tamaño de la fóvea, el ojo se mueve constantemente. Estas rápidas sacudidas de los ojos se denominan «movimientos sacádicos». Todo esto tiene lugar de manera subconsciente, y nos da la falsa impresión de que nuestro campo de visión es claro y nítido.

Cuando, de niño, vi por primera vez un diagrama que mostraba el espectro electromagnético en todo su esplendor, me quedé impresionado. Hasta entonces, no tenía ni idea de que grandes franjas del espectro (como la luz infrarroja, la ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma) eran completamente invisibles para nosotros. Empecé a darme cuenta de que lo que veía con los ojos no era más que una aproximación muy limitada y rudimentaria de la realidad. (Un antiguo dicho afirma que: «Si la apariencia y la esencia fuesen la misma cosa, no necesitaríamos la ciencia».) Los sensores que tenemos en la retina solo son capaces de detectar el rojo, el verde y el azul. Eso significa que en realidad nunca hemos visto el amarillo, el marrón, el naranja ni muchos otros colores. Esos colores existen, pero nuestro cerebro solo puede hacerse una idea aproximada de cada uno de ellos combinando en distintas proporciones el rojo, el verde y el azul. (Esto mismo se ve si nos fijamos en detalle en la pantalla de un televisor en color antiguo. Lo que se observa es un conjunto de puntos rojos, verdes y azules. La televisión en color es realmente una ilusión.)

Nuestros ojos también nos engañan al hacernos creer que podemos ver la profundidad. Las retinas

de nuestros ojos son bidimensionales, pero como estos están separados por unos pocos centímetros, los hemisferios izquierdo y derecho del cerebro combinan estas dos imágenes y nos hacen creer que percibimos una tercera dimensión. Para objetos más distantes, podemos estimar a qué distancia se encuentran viendo cómo se desplazan cuando movemos nuestra cabeza. Esto es lo que se llama «paralaje».

(Este paralaje explica por qué los niños se quejan a veces de que «la Luna me sigue». Como el cerebro tiene problemas para entender el paralaje de un objeto tan lejano como la Luna, da la sensación de que esta se mantiene siempre a la misma distancia «tras» ellos, pero es tan solo una ilusión debida a un truco del cerebro.)

LA PARADOJA DEL CEREBRO DIVIDIDO

Una manera en la que esta representación, basada en la jerarquía corporativa de una empresa, se desvía de la estructura real del cerebro se puede ver en el curioso caso de los pacientes con cerebro dividido. Una característica notable del cerebro es que está formado por dos mitades, o hemisferios, casi idénticos: el izquierdo y el derecho. Desde hace mucho tiempo, los científicos se preguntan el porqué de esta redundancia innecesaria, puesto que el cerebro puede funcionar incluso si se le extirpa por completo uno de los hemisferios. Ninguna estructura corporativa normal tiene esta extraña característica. Además, si cada hemisferio posee conciencia, ¿significa esto que tenemos dos centros de conciencia separados dentro de un único cráneo?

El doctor Roger W. Sperry, del Instituto Tecnológico de California, obtuvo el Premio Nobel en 1981 por demostrar que los dos hemisferios cerebrales no son copias exactas, sino que, de hecho, realizan tareas distintas. Este descubrimiento causó sensación en neurología (y también dio lugar a toda una industria artesanal de dudosos libros de autoayuda que trasladan la dicotomía cerebro izquierdo-cerebro derecho a la vida cotidiana).

El doctor Sperry estaba tratando a personas con epilepsia, que en ocasiones sufren episodios de intensas convulsiones, a menudo provocadas por una retroalimentación descontrolada entre ambos hemisferios. Como el agudo pitido de un micrófono en nuestros oídos debido a la retroalimentación, estos ataques pueden poner en peligro la vida del paciente. El doctor Sperry comenzó por seccionar el cuerpo calloso, que conecta los dos hemisferios cerebrales, para que dejasen de comunicarse y compartir información entre ambos lados del cuerpo. Normalmente, esto ponía fin a la retroalimentación y a los ataques.

Al principio, estos pacientes con el cerebro dividido parecían completamente normales. Estaban alerta y podían mantener una conversación normal como si nada hubiera pasado. Pero un análisis detallado de estos individuos reveló que había en ellos algo muy distinto.

Normalmente, los hemisferios se complementan entre sí a medida que los pensamientos pasan repetidamente de uno a otro. El hemisferio izquierdo es más analítico y lógico (es donde se ubican las habilidades verbales), mientras que el derecho es más holístico y artístico. Pero el izquierdo es el dominante y el que toma las decisiones últimas. Las órdenes pasan del hemisferio izquierdo al derecho a través del cuerpo calloso. Pero, si esa conexión se corta, eso implica que el derecho queda libre de la dictadura del izquierdo. Puede que el hemisferio derecho tenga voluntad propia, que choque con los deseos del dominante hemisferio izquierdo.

En resumen, puede que convivan dos voluntades dentro de un mismo cráneo y que a veces compitan por el control del cuerpo. Esto crea la extraña situación en la que la mano izquierda (controlada por el hemisferio derecho) empieza a comportarse con independencia de nuestros deseos, como si se tratase de un apéndice ajeno.

Está documentado un caso en el que un hombre que iba a abrazar a su mujer con una mano se encontró con que la otra mano tenía intenciones completamente distintas. Le propinó un gancho de derecha en pleno rostro. Otra mujer relató cómo, mientras elegía un vestido con una mano, la otra elegía un atuendo completamente distinto. Y a un hombre le costaba conciliar el sueño por la noche al pensar que su otra mano rebelde podría estrangularlo.

En ocasiones, las personas con el cerebro dividido piensan que están viviendo en un película de dibujos animados, en la que una mano lucha por controlar a la otra. Algunos médicos lo llaman el síndrome del doctor Strangelove, por una escena de *Teléfono rojo, volamos hacia Moscú* en la que una mano del protagonista tiene que luchar contra la otra.

El doctor Sperry, tras minuciosos estudios de pacientes con cerebro dividido, llegó finalmente a la conclusión de que podía haber dos mentes diferentes operando en un solo cerebro. Escribió que cada hemisferio es «de hecho un sistema consciente por derecho propio, que percibe, piensa, recuerda, razona, desea y se emociona, todo ello de una manera característicamente humana y […] tanto el hemisferio izquierdo como el derecho pueden ser conscientes al mismo tiempo de experiencias mentales, incluso contradictorias entre sí, que tienen lugar en paralelo».[11]

Cuando entrevisté al doctor Michael Gazzaniga, de la Universidad de California en Santa Bárbara, una autoridad en pacientes con cerebro dividido, le pregunté qué experimentos podían realizarse para demostrar esta teoría.[12] Existen diversas maneras de comunicarse por separado con cada hemisferio sin que el otro tenga conocimiento de ello. Es posible, por ejemplo, hacer que el sujeto lleve una gafas especiales en las que se le muestran preguntas a cada ojo por separado, de manera que es sencillo hacerle preguntas a cada hemisferio. Lo difícil es tratar de conseguir una respuesta de cada hemisferio. Puesto que el derecho no puede hablar (los centros del habla están situados únicamente en el izquierdo), es difícil obtener respuestas de él. El doctor Gazzaniga me contó que, para averiguar lo que el hemisferio derecho estaba pensando, había ideado un experimento en el que el (mudo) hemisferio derecho podía «hablar» utilizando letras del Scrabble.

Empezó preguntándole al hemisferio izquierdo del paciente qué haría tras la graduación. El paciente respondió que quería hacerse dibujante. Pero la cosa se puso interesante cuando le hizo la misma pregunta al (mudo) hemisferio derecho. Este deletreó las palabras «piloto de carreras». Sin que el dominante hemisferio izquierdo lo supiese, el derecho tenía unos planes de futuro completamente distintos. El hemisferio derecho tenía literalmente ideas propias.

Rita Carter escribe: «Las repercusiones que esto puede tener son alucinantes. Da a entender que todos podríamos llevar en nuestro cráneo un prisionero mudo con una personalidad, ambición y conciencia de sí mismo muy diferentes de la entidad que creemos ser en nuestro día a día».[13]

Puede que haya algo de verdad en una frase que se escucha a menudo: «En su interior hay alguien luchando por liberarse». Esto significa que los dos hemisferios podrían incluso tener distintas creencias. Por ejemplo, el neurólogo V. S. Ramachandran describe a un paciente con cerebro dividido que, cuando se le preguntó si era creyente o no, dijo que era ateo, aunque su hemisferio derecho se declaró creyente. Ramachandran continúa diciendo: «¿Qué pasará cuando esa persona se muera? ¿Un hemisferio irá al cielo y el otro al infierno? Yo no sé cuál es la respuesta».[14]

(Puede suceder, por lo tanto, que una persona con personalidad de cerebro dividido sea al mismo tiempo republicana y demócrata. Si se le pregunta a quién votará, nos dará el candidato del hemisferio izquierdo, puesto que el derecho es incapaz de hablar. Pero podemos imaginar el caos en la cabina de votación cuando tenga que tirar de la palanca con la mano.)

¿QUIÉN MANDA AQUÍ?

Una persona que ha dedicado un tiempo considerable a la investigación para comprender el problema de la mente subconsciente es el doctor David Eagleman, neurocientífico en el Baylor College of Medicine. Cuando lo entrevisté, le pregunté por qué si la mayoría de nuestros procesos mentales son subconscientes ignoramos este importante hecho. Me puso el ejemplo de un joven rey que accede al trono y se atribuye el mérito de todo lo que sucede en el reino, aunque no es consciente en absoluto de los miles de obreros, soldados y campesinos necesarios para sustentar la corona.[15]

Nuestras decisiones a la hora de votar en unas elecciones o de elegir pareja, amigos o carrera profesional están influidas por cosas de las que no somos conscientes. (Por ejemplo, un hecho extraño, me cuenta, es que «existe una probabilidad desproporcionadamente elevada de que las personas que se llaman Denise o Dennis se hagan dentistas, mientras que es más probable que quienes tienen por nombre Laura o Lawrence acaben siendo abogados [*lawyers*, en inglés], y que los Georges y Georginas sean geólogos».)[16] Esto significa también que podemos pensar que la «realidad» es solo una aproximación que el cerebro crea para rellenar los huecos. Cada uno de nosotros ve la realidad de manera ligeramente distinta. Por ejemplo, Eagleman destacó que «al menos el 15 por ciento de las

hembras humanas poseen una mutación genética que les proporciona un (cuarto) tipo adicional de fotorreceptor, lo que les permite discernir entre colores que nos parecen idénticos a la mayoría, quienes solo contamos con tres tipos de fotorreceptores».[17]

Claramente, cuanto mejor comprendemos la mecánica del pensamiento, más preguntas nos surgen. ¿Qué es exactamente lo que sucede en el centro de mando de la mente cuando se enfrenta a otro centro de mando rebelde en la sombra? ¿Qué significa realmente «conciencia», si puede dividirse en dos? ¿Cuál es la relación entre conciencia, «yo» y «autoconciencia»?

Si damos respuesta a estas difíciles preguntas, quizá estemos en el camino hacia la comprensión de la conciencia no humana, la de los robots y los alienígenas del espacio exterior, que podría ser completamente distinta de la nuestra.

Busquemos, pues, una respuesta clara para una pregunta engañosamente sencilla: ¿qué es la conciencia?

2

La conciencia vista por un físico

> La mente del hombre es capaz de cualquier cosa […] porque todo está en ella: todo el pasado y todo el futuro.
>
> JOSEPH CONRAD

> La conciencia puede reducir al más meticuloso de los pensadores al balbuceo incoherente.
>
> COLIN MCGINN

La idea de la conciencia ha fascinado a los filósofos durante siglos, pero, hasta hoy, se ha resistido a una definición sencilla. El filósofo David Chalmers ha catalogado más de veinte mil artículos científicos escritos sobre el asunto: ningún otro tema ha suscitado tanta implicación para acabar generando tan poco consenso. Gottfried Leibniz, el pensador del siglo XVII, escribió: «Si agrandásemos el cerebro hasta que tuviese el tamaño de un molino, y así pudiésemos caminar por su interior, no encontraríamos la conciencia».

Algunos filósofos dudan de que una teoría de la conciencia sea siquiera posible. Sostienen que la conciencia nunca podrá explicarse, puesto que un objeto no puede comprenderse a sí mismo, por lo que carecemos de la capacidad mental para resolver esta desconcertante cuestión. Steven Pinker, psicólogo en Harvard, escribe: «No podemos ver la luz ultravioleta. Mentalmente, no podemos rotar un objeto en la cuarta dimensión. Quizá tampoco seamos capaces de resolver enigmas como el libre albedrío o la conciencia».[1]

De hecho, durante buena parte del siglo XX, una de las teorías dominantes en psicología, el conductismo, negó por completo la importancia de la conciencia. El conductismo se basa en la idea de que lo único digno de estudio es el comportamiento objetivo de los animales y de las personas, no los estados internos y subjetivos de la mente.

Otros han desistido de encontrar una definición, o incluso una descripción, de la conciencia. Según el psiquiatra Giulio Tononi: «Todo el mundo sabe lo que es la conciencia: es lo que nos abandona cada noche cuando caemos en un sueño profundo, y vuelve a nosotros a la mañana siguiente cuando nos despertamos».[2]

Aunque llevamos siglos debatiendo sobre la conciencia, hemos llegado a pocas conclusiones. Puesto que los físicos crearon muchos de los inventos que han hecho posibles los revolucionarios avances en la ciencia del cerebro, puede que resulte útil recurrir a un ejemplo de la física para volver sobre esta antigua cuestión.

CÓMO ENTIENDEN LOS FÍSICOS EL UNIVERSO

Cuando un físico intenta entender algo, primero recopila datos y después propone un «modelo», una versión simplificada del objeto de estudio que recoge sus características fundamentales. En física, el modelo se describe mediante una serie de parámetros (por ejemplo: temperatura, energía y tiempo). A continuación, el físico utiliza el modelo para predecir su evolución futura simulando sus movimientos. De hecho, varios de los superordenadores más potentes del mundo se utilizan para simular la evolución de modelos, que describen protones, explosiones nucleares, patrones del tiempo atmosférico, el Big Bang o el centro de los agujeros negros. Después se puede crear un modelo mejor, utilizando parámetros más sofisticados, y simular asimismo su evolución temporal.

Por ejemplo, cuando Isaac Newton trataba de entender el movimiento de la Luna, creó un modelo sencillo que acabaría alterando el curso de la historia de la humanidad: imaginó que lanzaba una manzana al aire. Cuanto más rápido la lancemos, más lejos llegará, pensó. Si lo hacemos con una velocidad suficiente, daría una vuelta completa a la Tierra y podría incluso volver al punto inicial. Este modelo, afirmó Newton, representa la trayectoria de la Luna, por lo que las fuerzas que guían el movimiento de la manzana alrededor de la Tierra son idénticas a las que rigen el de la Luna.

Pero el modelo, por sí solo, no servía de nada. El avance clave se produjo cuando Newton fue capaz de utilizar su nueva teoría para simular el futuro, para calcular la posición futura de objetos en movimiento. Se trataba de un problema difícil, que obligó a Newton a crear toda una nueva rama de las matemáticas, el cálculo. Usando estas nuevas matemáticas, Newton logró predecir no solo la trayectoria de la Luna, sino también la del cometa Halley y la de los planetas. Desde entonces, los científicos han utilizado las leyes de Newton para simular el recorrido futuro de objetos en movimiento, desde balas de cañón, máquinas, automóviles y cohetes a asteroides o meteoros, e incluso estrellas y galaxias.

El éxito o el fracaso de un modelo depende de la fidelidad con la que reproduce los parámetros básicos del objeto original. En este caso, el parámetro fundamental era la posición de la manzana y

de la Luna en el espacio y en el tiempo. Al permitir que este parámetro evolucionara (esto es, al dejar que transcurriese el tiempo), Newton descifró, por primera vez en la historia, la acción de los cuerpos en movimiento, que constituye uno de los descubrimientos más importantes de la ciencia.

Los modelos son útiles hasta que se sustituyen por otros aún más precisos, descritos por mejores parámetros. Einstein reemplazó la visión de Newton de fuerzas que actuaban sobre manzanas y lunas con un nuevo modelo basado en un nuevo parámetro, la curvatura del espacio y del tiempo. Una manzana no se mueve porque la Tierra ejerza una fuerza sobre ella, sino porque la Tierra estira el tejido del espacio y del tiempo, de manera que la manzana simplemente se mueve a lo largo de la superficie de un espacio-tiempo curvo. A partir de ahí, Einstein podía simular el futuro del universo entero. Hoy en día, con ordenadores, podemos ejecutar simulaciones de este modelo hacia el futuro y crear vistosas imágenes que representan las colisiones de agujeros negros.

Incorporemos esta estrategia básica a una nueva teoría de la conciencia.

DEFINICIÓN DE CONCIENCIA

Tomo prestados diversos fragmentos de descripciones ya existentes de la conciencia en los campos de la neurología y la biología para definirla como sigue:

> «Conciencia» es el proceso de crear un modelo del mundo a partir de múltiples bucles de retroalimentación basados en distintos parámetros (por ejemplo, la temperatura, el espacio, el tiempo o la relación con los demás), para lograr un objetivo (por ejemplo, encontrar pareja, comida o refugio).

La llamo «teoría espaciotemporal de la conciencia», porque hace hincapié en la idea de que los animales crean un modelo del mundo principalmente en relación con el espacio y con los demás individuos, mientras que los humanos van más allá y crean un modelo del mundo en relación con el tiempo, tanto hacia delante como hacia atrás.

Por ejemplo, el nivel más bajo de conciencia es el nivel 0, en el que un organismo es estacionario o tiene movilidad limitada y crea un modelo de su lugar utilizando bucles de retroalimentación basados en unos pocos parámetros (como la temperatura). Por ejemplo, el nivel más simple de conciencia es el de un termostato. Enciende automáticamente el aire acondicionado o la calefacción para ajustar la temperatura de una habitación, sin ninguna ayuda. La clave es la retroalimentación, que activa un interruptor si la temperatura baja o sube demasiado. (Por ejemplo, los metales se expanden cuando se calientan, de manera que un termostato puede activar un interruptor si una placa de metal se expande más allá de determinado punto.)

Cada bucle de retroalimentación constituye «una unidad de conciencia», por lo que un termostato tendría una sola unidad de conciencia de nivel 0; es decir, un nivel 0:1.

De esta manera, podemos clasificar la conciencia numéricamente, basándonos en la cantidad y la complejidad de los bucles de retroalimentación utilizados para crear un modelo del mundo. Así, la conciencia ya no es una imprecisa colección de conceptos circulares y poco definidos, sino un sistema de jerarquías que se pueden clasificar numéricamente. Por ejemplo, una bacteria o una flor poseen muchos más bucles de retroalimentación, por lo que tendrían un grado más elevado de conciencia de nivel 0. Una flor con diez bucles de retroalimentación (que miden la temperatura, la humedad, la luz solar, la gravedad…) tendría una conciencia de nivel 0:10.

Los organismos que son móviles y cuentan con un sistema nervioso central poseen conciencia de nivel I, que incluye un nuevo conjunto de parámetros para medir su ubicación variable. Un ejemplo de conciencia de nivel I serían los reptiles. Tienen tantos bucles de retroalimentación que han desarrollado un sistema nervioso central para gestionarlos. El cerebro reptil tendría quizá más de cien bucles de retroalimentación (que controlan su sentido del olfato, del equilibrio, del tacto, del oído, de la vista, la presión sanguínea, etcétera, y cada uno de estos contiene a su vez más bucles de retroalimentación). Por ejemplo, el sentido de la vista por sí solo implica una gran cantidad de bucles de retroalimentación, ya que el ojo puede reconocer el color, el movimiento, las formas, la intensidad de la luz y las sombras. Análogamente, los demás sentidos del reptil, como el oído y el gusto, requieren bucles de retroalimentación adicionales. El conjunto de todos ellos crea una imagen mental de dónde se encuentra el reptil en el mundo y también de dónde están otros animales (por ejemplo, sus presas). La conciencia de nivel I, a su vez, está gobernada principalmente por el cerebro reptil, situado en la parte central y posterior de nuestra cabeza.

La siguiente es la conciencia de nivel II, en la que los organismos crean un modelo de su lugar no solo en el espacio sino también respecto a otros individuos (es decir, son animales sociales con emociones). El número de bucles de retroalimentación para la conciencia de nivel II aumenta exponencialmente, por lo que resulta útil introducir una nueva clasificación numérica para este tipo de conciencia. Crear aliados, detectar enemigos, servir al macho alfa, etcétera, todos estos son comportamientos muy complejos que requieren un cerebro mucho mayor, por lo que la conciencia de nivel II coincide con la formación de nuevas estructuras cerebrales en forma del sistema límbico. Como ya se ha mencionado antes, el sistema límbico incluye el hipocampo (para los recuerdos), la amígdala (para las emociones) y el tálamo (para la información sensorial), todos los cuales proporcionan nuevos parámetros para crear modelos en relación con los demás individuos. Por lo tanto, la cantidad y el tipo de los bucles de retroalimentación varían.

Definimos el grado de conciencia de nivel II como el número total de bucles de retroalimentación diferentes que un animal necesita para interactuar socialmente con los miembros de su grupo. Por desgracia, los estudios de la conciencia animal son muy limitados, lo que significa que se ha dedicado poco esfuerzo a catalogar todas las formas en que los animales se comunican socialmente entre sí. Pero, en una primera aproximación, podemos estimar la conciencia de nivel II partiendo del

número de animales que componen el grupo o tribu y contando el número total de formas en que el animal interactúa emocionalmente con cada uno de ellos. Esto incluiría reconocer a rivales y amigos, crear vínculos con los demás, devolver favores, formar coaliciones, entender el estatus propio y la clasificación social de los demás, respetar el estatus de los superiores, desplegar el poder propio ante los inferiores, conspirar para elevarse en la escala social, etcétera. (Podemos excluir a los insectos de este nivel II, porque, aunque establecen relaciones sociales con los miembros de su colmena o grupo, hasta donde sabemos no sienten emociones.)

A pesar de la falta de estudios empíricos de los comportamientos animales, podemos ofrecer una clasificación numérica a grandes rasgos de la conciencia de nivel II, a partir del número total de emociones y comportamientos sociales diferenciados que el animal exhibe. Por ejemplo, si una manada de lobos está compuesta por diez ejemplares, y cada uno de ellos interactúa con todos los demás a través de quince emociones y gestos distintos, su nivel de conciencia, en una primera aproximación, viene dado por el producto de los dos, que es ciento cincuenta, de manera que tendría una conciencia de nivel II:150. Esta cifra tiene en cuenta tanto el número de animales con los que tiene que interactuar como la cantidad de maneras en que puede comunicarse con cada uno de ellos. La cifra solo es una aproximación del número total de interacciones sociales que el animal puede desplegar, y sin duda variará a medida que aprendamos más cosas sobre su comportamiento.

(Evidentemente, como la evolución nunca es limpia y precisa, existen ciertas excepciones que hemos de explicar, como el nivel de conciencia de los animales sociales que son cazadores solitarios. Lo haremos en las notas.)[3]

CONCIENCIA DE NIVEL III: SIMULAR EL FUTURO

Dentro de este marco conceptual para la conciencia vemos que los humanos no somos únicos, y que existe todo un continuo de conciencias. Charles Darwin comentó alguna vez: «Las diferencias entre el hombre y los animales superiores, aun siendo grandes, lo son de grado y no de clase».[4] Pero ¿qué separa la conciencia humana de la de los animales? Los humanos somos los únicos en todo el reino animal capaces de comprender el concepto de mañana. A diferencia de los animales, nos preguntamos constantemente «qué ocurrirá» semanas, meses e incluso años en el futuro, por lo que creo que la conciencia de nivel III crea un modelo de su lugar en el espacio y después simula su evolución en el futuro, haciendo predicciones aproximadas. Podemos resumirlo así:

> La humana es una forma específica de conciencia que crea un modelo del mundo y después simula su evolución en el tiempo, evaluando el pasado para simular el futuro. Esto requiere evaluar múltiples bucles de retroalimentación y mediar entre ellos para así poder tomar una decisión con el fin de alcanzar un objetivo.

Para cuando alcanzamos una conciencia de nivel III son tantos los bucles de retroalimentación, que necesitamos que un «consejero delegado» los examine para poder simular el futuro y tomar la decisión final. En consecuencia, nuestros cerebros se diferencian de los de otros animales, en particular por el gran tamaño de la corteza prefrontal, situada justo detrás de la frente, que nos permite «ver» hacia el futuro.

El doctor Daniel Gilbert, un psicólogo de Harvard, ha escrito: «El mayor logro del cerebro humano es su capacidad para imaginar objetos y episodios que no existen en el reino de lo real, y es esta facultad la que nos permite pensar en el futuro. Como señaló un filósofo, el cerebro humano es una “máquina anticipatoria” y “construir el futuro” es su actividad principal».[5]

Por medio de escáneres cerebrales, podemos incluso proponer una candidata para el área precisa del cerebro donde tiene lugar la simulación del futuro. El neurólogo Michael Gazzaniga señala que el «área 10 (la capa granular interna IV), en la corteza prefrontal lateral, es casi dos veces más grande en los humanos que en los simios. El área 10 interviene en la memoria y en la planificación, la flexibilidad cognitiva, el pensamiento abstracto, en la adopción de los comportamientos adecuados y la inhibición de los inadecuados, en el aprendizaje de reglas y en la selección de la información relevante a partir de lo que perciben los sentidos».[6] (En este libro nos referiremos a esa área, en la que se concentra la toma de decisiones, como la corteza dorsolateral prefrontal, aunque existe cierta superposición con otras áreas del cerebro.)

Aunque los animales pueden tener una idea bien definida de su lugar en el espacio y cierto grado de conciencia de los demás, no está claro que hagan sistemáticamente planes de futuro ni que tengan una idea del «mañana». La mayoría de los animales, incluso los animales sociales con sistemas límbicos bien desarrollados, reaccionan a las situaciones (como la presencia de depredadores o de potenciales parejas) confiando principalmente en el instinto, en lugar de planificar sistemáticamente el futuro.

Por ejemplo, los mamíferos no hacen planes para el invierno preparándose para hibernar, sino que, básicamente, siguen sus instintos cuando baja la temperatura. Su conciencia está dominada por mensajes procedentes de los sentidos. No hay evidencia de que examinen de forma sistemática varios planes y estratagemas cuando se preparan para hibernar. Los depredadores, cuando utilizan tretas y camuflajes para acechar a sus incautas presas, sí prevén acontecimientos futuros, pero su planificación está limitada únicamente al instinto y a la duración de la caza. Los primates son hábiles a la hora de idear planes a corto plazo (por ejemplo, para encontrar comida), pero no hay indicios de que planifiquen más allá de unas pocas horas en el futuro.

Los humanos somos diferentes. Aunque en muchas situaciones recurrimos al instinto y a las emociones, también analizamos y evaluamos constantemente información procedente de muchos bucles de retroalimentación. Lo hacemos mediante simulaciones que en ocasiones se prolongan más allá de la duración de nuestra propia vida, e incluso se extienden durante miles de años en el futuro.

El objetivo de realizar estas simulaciones es evaluar distintas posibilidades y así tomar la mejor decisión para cumplir un objetivo. Esto sucede en la corteza prefrontal, que nos permite simular el futuro y evaluar las posibilidades para determinar cuál es el mejor camino a seguir.

Hemos desarrollado esta capacidad por varios motivos. En primer lugar, ser capaces de vislumbrar el futuro tiene enormes ventajas desde un punto de vista evolutivo, como escapar a los depredadores o encontrar comida y pareja. En segundo lugar, nos permite escoger entre varios resultados diferentes y seleccionar el mejor de ellos.

En tercer lugar, el número de bucles de retroalimentación se incrementa exponencialmente al pasar del nivel 0 al nivel I, y de este al nivel II, por lo que se hace necesario un consejero delegado que evalúe todos estos mensajes contradictorios que compiten entre sí. Debe haber un cuerpo central que valore todos estos bucles de retroalimentación. Esto es lo que distingue la conciencia humana de la de los animales. Estos bucles de retroalimentación se evalúan, a su vez, simulando su evolución en el futuro para obtener el mejor resultado. Si no dispusiésemos de un «consejero delegado», se impondría el caos y experimentaríamos una sobrecarga sensorial.

Esto se puede demostrar con un sencillo experimento. David Eagleman describe lo que sucede si hacemos que una hembra penetre en el territorio de un pez espinoso macho. El macho está confuso, porque quiere aparearse con la hembra, pero también quiere defender su territorio.[7] En consecuencia, el macho, simultáneamente, atacará a la hembra e iniciará el cortejo. El macho se vuelve frenético, pues intenta al mismo tiempo atraer y matar a la hembra.

Esto mismo sucede con los ratones. Colocamos un electrodo frente a un pedazo de queso. Si el ratón se acerca demasiado, recibirá una descarga. Un bucle de retroalimentación le dice al ratón que se coma el queso, pero otro le incita a mantenerse alejado para evitar otra descarga. Ajustando la ubicación del electrodo, podemos hacer que el ratón oscile, dividido entre dos bucles de retroalimentación contradictorios. Mientras que un humano tiene un consejero delegado en su cerebro que valora los pros y los contras de la situación, el ratón, dirigido por dos bucles de retroalimentación contradictorios, va de un lado a otro. (Esto recuerda al proverbio sobre el burro que muere de hambre porque se encuentra entre dos balas de paja iguales.)

¿Cómo simula exactamente el cerebro el futuro? El cerebro humano está inundado de una enorme cantidad de datos sensoriales y emocionales. Pero la clave es simular el futuro estableciendo relaciones causales entre eventos; es decir, si sucede A entonces sucede B. Pero si ocurre B, entonces podrían producirse C y D. Esto desata una reacción en cadena, que da lugar a un árbol con múltiples ramas que representan los posibles futuros en cascada. El consejero delegado en la corteza prefrontal evalúa los resultados de estos árboles causales para tomar la decisión definitiva.

Supongamos que queremos robar un banco. ¿Cuántas simulaciones realistas de este evento podemos realizar? Para saberlo, hemos de pensar en las distintas relaciones causales en las que intervienen la policía, los transeúntes, los sistemas de alarma, la relación con los compañeros

delincuentes, la situación del tráfico, la oficina del fiscal, etcétera. Para llevar a cabo una simulación del robo satisfactoria, debemos analizar cientos de relaciones causales.

También es posible medir numéricamente este nivel de conciencia. Digamos que, ante un conjunto de situaciones diferentes como las que acabamos de comentar, se le pide a una persona que simule el futuro de cada una de ellas. Se puede tabular la suma total del número de relaciones causales que la persona puede establecer en todas esas situaciones. (Una posible complicación es que el número de relaciones causales que una persona puede establecer en multitud de situaciones imaginables es ilimitado. La solución pasa por dividir ese número entre la cantidad media de relaciones causales obtenida a partir de un extenso grupo de control. Como en un test del coeficiente intelectual, podemos multiplicar el número por cien. Así, una persona podría tener, por ejemplo, una conciencia de nivel III:100, lo que significa que puede simular acontecimientos futuros como una persona promedio.)

La siguiente tabla resume estos niveles de conciencia:

Niveles de conciencia de distintas especies

Nivel	*Especie*	*Parámetro*	*Estructura cerebral*
0	Plantas	Temperatura, luz solar	Ninguna
I	Reptiles	Espacio	Tronco encefálico
II	Mamíferos	Relaciones sociales	Sistema límbico
III	Humanos	Tiempo (espacio, futuro)	Corteza prefrontal

Teoría espaciotemporal de la conciencia. Definimos la conciencia como el proceso de crear un modelo del mundo a partir de múltiples bucles de retroalimentación basados en distintos parámetros (por ejemplo, la temperatura, el espacio, el tiempo o la relación con los demás) para conseguir un objetivo.

(Fijémonos en que estas categorías corresponden aproximadamente a los grados evolutivos que vemos en la naturaleza; por ejemplo, reptiles, mamíferos, humanos. No obstante, también existen zonas grises, como animales que pueden combinar pequeños aspectos de distintos niveles de conciencia, animales capaces de una planificación rudimentaria o incluso células individuales que se comunican entre sí. Esta tabla solo pretende trasladar una imagen global de cómo se organiza la conciencia en el reino animal.)

¿QUÉ ES EL HUMOR? ¿POR QUÉ TENEMOS EMOCIONES?

Todas las teorías deben ser falsables. El desafío al que se enfrenta la teoría espaciotemporal de la conciencia es el de explicar todos los aspectos de la conciencia humana dentro de este marco. Será falsable si existen determinados patrones de pensamiento que no encajen en la teoría. Un crítico podría decir que resulta evidente que nuestro sentido del humor es tan subjetivo y voluble que se

resiste a la explicación. Pasamos mucho tiempo riéndonos con nuestros amigos, o de los cómicos, y sin embargo parece que el humor no tiene nada que ver con nuestras simulaciones del futuro. Pero planteémonos lo siguiente: buena parte del humor, como cuando se cuenta un chiste, depende de cómo termine la historia.

Cuando escuchamos un chiste no podemos evitar simular el futuro y completar la historia por nuestra cuenta (aunque no nos demos ni cuenta de que lo hacemos). Sabemos lo suficiente sobre el mundo físico y social para anticipar el final, por eso soltamos una carcajada cuando el chiste termina con una conclusión totalmente inesperada. Lo fundamental del humor es que nuestra simulación del futuro sufre una alteración repentina y sorprendente. (Históricamente, esto fue importante para nuestra evolución, ya que el éxito depende en parte de nuestra capacidad de simular noticias futuras. Como la vida en la jungla está repleta de eventos imprevistos, cualquiera que fuese capaz de prever resultados inesperados tenía una mayor probabilidad de sobrevivir. De esta manera, poseer un refinado sentido del humor es en realidad un indicio de nuestra conciencia de nivel III y de nuestra inteligencia, es decir, de nuestra capacidad para simular el futuro.)

Por ejemplo, una vez le hicieron una pregunta a W. C. Fields sobre actividades sociales para la juventud: «¿Cree usted en los clubes para los jóvenes?». A lo que respondió: «Solo cuando por las buenas la cosa no funciona».

La broma solo tiene gracia porque mentalmente simulamos un futuro en el que los jóvenes tendrán clubes sociales, mientras que W. C. Fields simula un futuro diferente, en el que el club (que en inglés significa «garrote») es un arma. (Obviamente, si se deconstruye el chiste, pierde su gracia, porque ya hemos simulados varios futuros posibles en nuestra mente.)

Esto explica también algo que todo cómico sabe: el tempo es la clave del humor. Si la gracia se cuenta demasiado rápido, el cerebro no ha tenido tiempo de simular el futuro, y por lo tanto no se crea la sensación de lo inesperado. Si se cuenta demasiado tarde, el cerebro ya ha tenido tiempo de simular varios futuros posibles, y se pierde igualmente el elemento sorpresa.

(La risa tiene otras funciones, por supuesto, como fortalecer los vínculos con los demás miembros de la tribu. De hecho, utilizamos nuestro sentido del humor para valorar el carácter de los demás. Lo cual, a su vez, es fundamental para determinar nuestro estatus en la sociedad. Así pues, la risa contribuye a definir nuestra posición en el mundo social, es decir, a la conciencia de nivel II.)

¿POR QUÉ COTILLEAMOS Y JUGAMOS?

Incluso actividades aparentemente triviales, como el cotilleo insustancial o hacer el tonto con los amigos, deben poderse explicar en el contexto de este marco conceptual. (Si un marciano visitase la cola que se forma en la caja de un supermercado y viese el enorme despliegue de revistas de cotilleo,

podría llegar a la conclusión de que esta es una de las principales actividades humanas. Y no iría muy desencaminado.)

El cotilleo es fundamental para la supervivencia, porque los complejos mecanismos de las relaciones sociales están siempre evolucionando, por lo que tenemos que hacernos una idea de este terreno social en cambio continuo. Este es un ejemplo de conciencia de nivel II en acción. Pero, en cuanto oímos algún chisme, realizamos simulaciones para saber cómo afectará a nuestra posición en la comunidad. Entonces pasa a la conciencia de nivel III. De hecho, hace miles de años, los cotilleos eran la única manera de conseguir información vital sobre la tribu. A menudo, nuestra propia vida dependía de que estuviésemos al tanto del último chisme.

Algo tan superfluo como «jugar» constituye también una característica fundamental de la conciencia. Si le preguntamos a los niños por qué juegan, nos dirán: «Porque es divertido». Pero eso da pie a la siguiente pregunta: ¿qué es lo divertido? En realidad, cuando los niños juegan, normalmente están tratando de recrear interacciones humanas complejas en una forma simplificada. La sociedad humana es extremadamente sofisticada, demasiado enrevesada para el cerebro, aún en desarrollo, de los niños pequeños, así que lo que hacen es ejecutar simulaciones simplificadas de la sociedad adulta, jugando a los médicos, a policías y ladrones, o haciendo como que están en la escuela. Cada juego es un modelo que les permite experimentar con un pequeño segmento del comportamiento adulto y proyectar simulaciones hacia el futuro. (Análogamente, cuando los adultos juegan, como en una partida de póker, el cerebro crea constantemente un modelo de las cartas que tiene cada jugador, y luego lo proyecta hacia el futuro, utilizando datos previos sobre la personalidad de los jugadores, su capacidad para tirarse faroles, etcétera. La clave en actividades como el ajedrez, las cartas o las apuestas es la capacidad de simular el futuro. A los animales, que viven en gran medida en el presente, no se les da tan bien jugar como a los humanos, en particular cuando implica tener que planificar. Las crías de mamíferos sí se dedican a cierta forma de juego, pero es más bien para ejercitarse, ponerse a prueba mutuamente, entrenar para futuras batallas y establecer la incipiente jerarquía social, que para simular el futuro.)

Puede que mi teoría espaciotemporal de la conciencia también arroje luz sobre otro asunto controvertido: la inteligencia. Aunque los test de inteligencia afirman que miden «la inteligencia», lo cierto es que, para empezar, ni siquiera ofrecen una definición de lo que es la inteligencia. De hecho, un cínico podría decir, con cierta justificación, que el cociente intelectual es una medida de «lo bien que a uno se le dan los test que miden el cociente intelectual», lo cual es una tautología. Además, se han criticado los test de inteligencia por tener un gran sesgo cultural. Sin embargo, en el contexto de este nuevo marco conceptual, se puede ver la inteligencia como la complejidad de nuestras simulaciones del futuro. Así, un delincuente consumado, que podría haber abandonado los estudios, ser un analfabeto funcional y obtener unos resultados desoladores en un test de inteligencia al uso, podría también superar con creces la capacidad de la policía. Ser más listo que los policías podría

consistir sencillamente en tener la capacidad de ejecutar simulaciones del futuro más sofisticadas.

NIVEL I: FLUJO DE CONCIENCIA

Probablemente, los humanos seamos los únicos en el planeta que operamos en todos los niveles de conciencia. Mediante escáneres de imagen por resonancia magnética podemos descomponer las distintas estructuras que intervienen en cada nivel de conciencia.

Para nosotros, el flujo de conciencia de nivel I es en gran medida la interacción entre la corteza prefrontal y el tálamo. Cuando damos un paseo por el parque somos conscientes de los olores de las plantas, la sensación de una brisa ligera, los estímulos visuales de la luz, etcétera. Nuestros sentidos envían señales a la columna vertebral, al tronco encefálico y después al tálamo, que opera como una estación repetidora y clasifica los estímulos antes de mandarlos a las distintas cortezas cerebrales. Las imágenes del parque, por ejemplo, se remiten a la corteza occipital en la zona posterior del cerebro, mientras que la sensación de viento, recogida a través del sentido del tacto, se envía al lóbulo parietal. Las señales se procesan en las cortezas correspondientes y después pasan a la corteza prefrontal, donde finalmente tomamos conciencia de todas estas sensaciones.

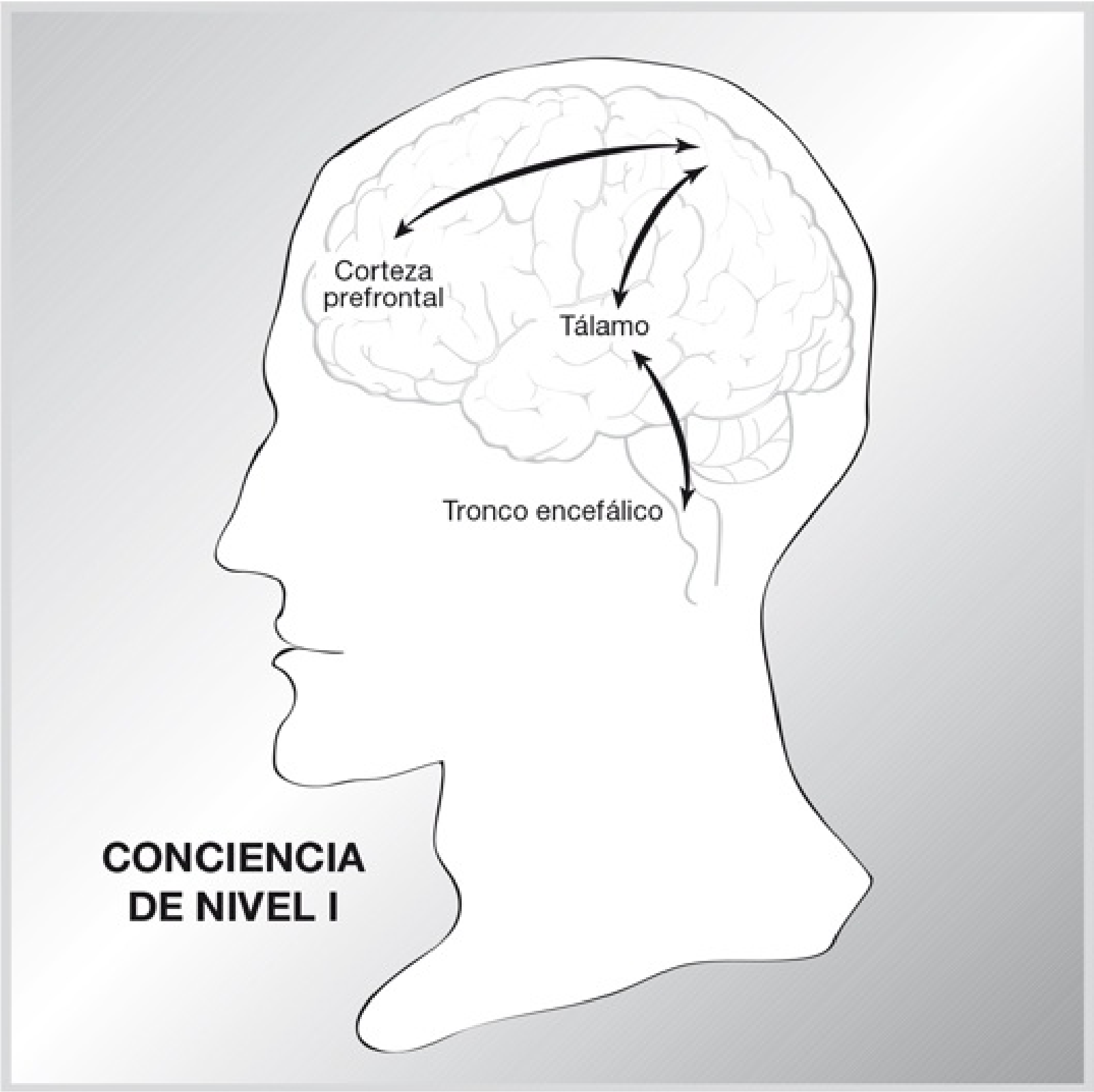
Esta situación se ilustra en la figura 7.

NIVEL II: ENCONTRAR NUESTRO LUGAR EN LA SOCIEDAD

Mientras que la conciencia de nivel I utiliza las sensaciones para crear un modelo de nuestra situación física en el espacio, la de nivel II produce un modelo del lugar que ocupamos en la sociedad.

Supongamos que estamos invitados a una recepción a la que acuden personas muy importantes para nuestra vida profesional. Cuando exploramos la sala con la mirada, tratando de identificar a las personas en cuestión, se produce una intensa interacción entre el hipocampo (que procesa los recuerdos), la amígdala (que trata las emociones) y la corteza prefrontal (que combina toda esta información).

A cada imagen, nuestro cerebro le asocia automáticamente una emoción, como felicidad, miedo, ira o envidia, y la procesa en la amígdala.



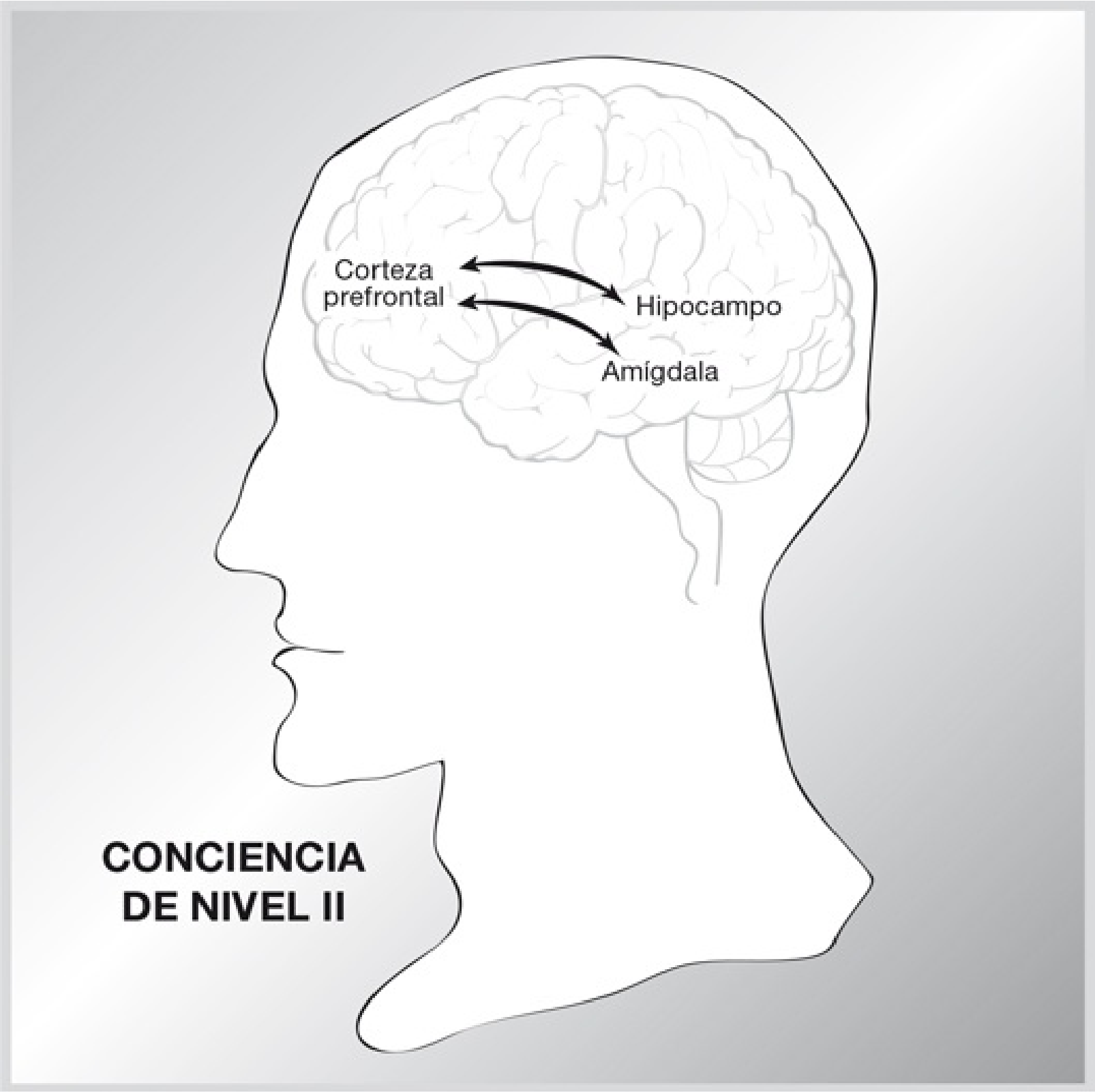
© Jeffrey Ward

FIGURA 7. En la conciencia de nivel I, la información sensorial atraviesa el tronco encefálico, pasa por el tálamo, llega a las distintas cortezas cerebrales y acaba finalmente en la corteza prefrontal. Por lo tanto, este flujo de conciencia de nivel I está generado por el flujo de información del tálamo a la corteza prefrontal.

Si avistamos a nuestro principal rival, de quien sospechamos que nos está apuñalando por la espalda, la emoción del miedo se procesa en la amígdala, que envía un mensaje urgente a la corteza prefrontal, alertándola del posible peligro. Simultáneamente, se mandan señales al sistema endocrino para que empiece a bombear adrenalina y otras hormonas en la sangre, lo que hará que aumente el

ritmo cardíaco preparándonos para una respuesta en forma de lucha o de huida.

La situación se ilustra en la figura 8.



© Jeffrey Ward

FIGURA 8. Las emociones se originan y se procesan en el sistema límbico. En la conciencia de nivel II nos vemos bombardeados continuamente con información sensorial, pero las emociones son respuestas rápidas del sistema límbico ante situaciones de emergencia y no requieren el permiso de la corteza prefrontal. El hipocampo es también importante a la hora de procesar los recuerdos. La conciencia de nivel II, en esencia, consiste en la reacción de la amígdala, el hipocampo y la corteza prefrontal.

Pero, más allá de limitarse a reconocer a otras personas, el cerebro posee la misteriosa capacidad de adivinar en qué están pensando. Es lo que se denomina «teoría de la mente», propuesta inicialmente por el doctor David Premack, de la Universidad de Pennsylvania, y que consiste en la

capacidad de deducir los pensamientos de los demás. En cualquier sociedad compleja, cualquiera que tenga la capacidad de adivinar correctamente las intenciones, motivos y planes de otras personas posee una enorme ventaja de cara a la supervivencia sobre quienes no pueden hacerlo. La teoría de la mente nos permite formar alianzas con terceros, neutralizar a nuestros enemigos y consolidar nuestras amistades, lo que hace que aumente notablemente nuestro poder y la probabilidad de que sobrevivamos y encontremos pareja. Algunos antropólogos creen que el hecho de que llegásemos a dominar la teoría de la mente fue crucial en la evolución de nuestro cerebro.

Pero ¿cómo se llega a la teoría de la mente? Un indicio data de 1996, con el descubrimiento de las «neuronas espejo» por los doctores Giacomo Rizzolatti, Leonardo Fogassi y Vittorio Gallese. Estas neuronas se activan cuando realizamos determinadas tareas y también cuando vemos a otra persona llevando a cabo esas mismas acciones. (Las neuronas espejo se activan tanto por emociones como por actos físicos. Tanto si sentimos determinada emoción como si pensamos que otra persona la está sintiendo, las neuronas espejo se activarán.)

Las neuronas espejo son fundamentales para la imitación y para la empatía, ya que nos permiten no solo copiar las acciones complejas que otros llevan a cabo, sino también experimentar las emociones que esas personas deben de estar sintiendo. Por lo tanto, es probable que resultasen cruciales para nuestra evolución como seres humanos, para quienes la cooperación es básica para mantener unida a la tribu.

Las neuronas espejo se descubrieron primero en las áreas premotoras del cerebro de los monos. Desde entonces también se han hallado en la corteza prefrontal humana. El doctor V. S. Ramachandran cree que fueron fundamentales para hacer posible nuestra autoconciencia, y concluye: «Predigo que las neuronas espejo harán por la psicología lo que el ADN hizo por la biología: servirán como marco unificador y contribuirán a explicar todo un abanico de capacidades mentales que hasta ahora eran misteriosas e inasequibles a los experimentos».[8] (No obstante, es conveniente señalar que todos los resultados científicos deben ser probados y reconfirmados. No cabe duda de que ciertas neuronas son responsables de este comportamiento crucial relacionado con la empatía, la imitación, etcétera, pero hay cierto debate sobre la identidad de estas neuronas espejo. Por ejemplo, algunos críticos afirman que es posible que estas funciones sean comunes a muchas neuronas, y que no existe una única clase de neuronas dedicada a esta función.)

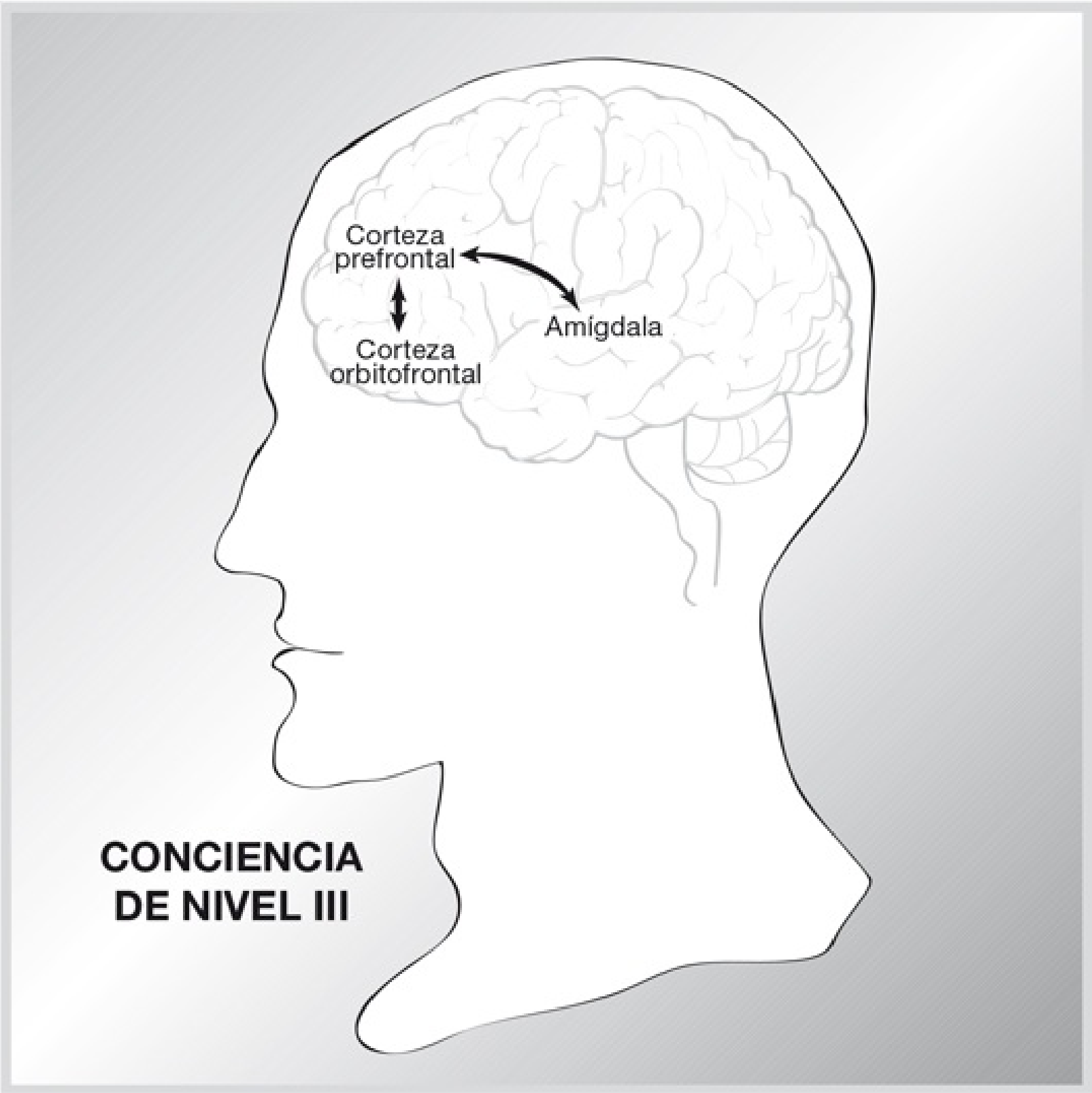
NIVEL III: SIMULAR EL FUTURO

La conciencia de nivel más elevado, que se asocia principalmente con el *Homo sapiens*, es la conciencia de nivel III, en la que, partiendo de nuestro modelo del mundo, realizamos simulaciones hacia el futuro. Para hacerlo, analizamos nuestros recuerdos de personas y eventos, y simulamos el

futuro enlazando múltiples relaciones causales hasta formar un árbol «causal». Cuando vemos las caras de la gente en la recepción, empezamos a hacernos preguntas sencillas: ¿cómo puede ayudarme esta persona?; ¿qué consecuencias tendrán en el futuro las habladurías que circulan por la sala?; ¿alguien tiene algo contra mí?

Supongamos que acabamos de perder nuestro trabajo y estamos buscando otro desesperadamente. Entonces, mientras hablamos con las personas que han asistido a la recepción, nuestra mente simula el futuro con cada una de ellas. Te preguntas: ¿cómo podría impresionar a esta persona?; ¿qué temas de conversación me convendría proponer?; ¿podría ofrecerme un trabajo?

Imágenes cerebrales recientes han arrojado algo de luz sobre la manera en que el cerebro simula el futuro. Estas simulaciones se realizan principalmente en la corteza dorsolateral prefrontal, el consejero delegado del cerebro, utilizando recuerdos del pasado. Por una parte, las simulaciones del futuro pueden producir resultados deseables y placenteros, en cuyo caso se activan los centros del placer en el cerebro (en el núcleo accumbens y el hipotálamo). Por otra, estos resultados pueden tener aspectos negativos, lo que hace que entre en acción la corteza orbitofrontal para advertirnos de los posibles peligros. Existe, por lo tanto, una lucha entre distintas partes del cerebro en relación con el futuro, que puede tener resultados deseables o indeseables. En última instancia, es la corteza dorsolateral prefrontal la que media entre ambas y toma las decisiones finales (véase figura 9). (Algunos neurólogos han señalado que esta lucha recuerda, sin entrar en detalles, a la dinámica entre el ego, el ello y el superego de Freud.)



© Jeffrey Ward

Figura 9. En la simulación del futuro, el núcleo de la conciencia de nivel III, interviene la corteza dorsolateral prefrontal, el CEO del cerebro, con la participación del centro del placer y la corteza orbitofrontal (que actúa para controlar los impulsos). Esto se parece, aproximadamente, a la descripción que propuso Freud de la lucha entre conciencia y deseos. El proceso de simulación propiamente dicho se produce cuando la corteza prefrontal accede a los recuerdos para hacerse una idea aproximada de los eventos futuros.

El misterio de la autoconciencia

Si la teoría espaciotemporal de la conciencia es correcta, entonces también nos ofrece una definición rigurosa de la autoconciencia. En lugar de referencias circulares y vagas, deberíamos estar en condiciones de dar una definición comprobable y útil. Definimos la autoconciencia así:

> La autoconciencia consiste en la creación de un modelo del mundo y en la simulación de un futuro en el que aparece el propio sujeto.

Los animales, por lo tanto, poseen cierto grado de autoconciencia, ya que deben saber dónde se encuentran para poder sobrevivir y encontrar pareja, aunque la autoconciencia en ellos se encuentra limitada en gran medida por el instinto.

La mayoría de los animales, cuando se los pone frente a un espejo, o bien lo ignoran o bien lo atacan, pues no se dan cuenta de que se trata de una imagen de ellos mismos. (Es lo que se llama «la prueba del espejo», cuyo origen se remonta hasta Darwin.) No obstante, ciertos animales, como los elefantes, los grandes simios, los delfines nariz de botella, las orcas y las urracas europeas, son capaces de entender que la imagen que ven en el espejo es una representación propia.

Los humanos vamos mucho más allá y realizamos constantemente simulaciones de futuro en las que somos protagonistas. Imaginamos continuamente cómo nos comportaríamos frente a distintas situaciones —tener una cita, presentar nuestra candidatura a un puesto de trabajo, cambiar de carrera—, ninguna de las cuales viene determinada por el instinto. Es extremadamente difícil conseguir que el cerebro deje de simular el futuro, aunque se han ideado elaborados métodos para tratar de hacerlo (como la meditación).

Soñar despierto, por ejemplo, consiste en buena medida en recrear distintos futuros posibles para lograr un objetivo. Puesto que nos enorgullecemos de conocer nuestras limitaciones y puntos fuertes, no nos resulta difícil introducirnos en el modelo, pulsar el botón de «reproducir», y ver cómo actuaríamos en situaciones hipotéticas, como si fuésemos actores en una obra virtual.

¿DÓNDE ESTOY «YO»?

Probablemente exista una parte específica del cerebro cuya función sea la de unificar las señales de ambos hemisferios para crear una sensación del propio yo continua y coherente. El doctor Todd Heatherton, psicólogo en la Universidad de Dartmouth, cree que esta región está situada en el interior de la corteza prefrontal y se denomina «corteza prefrontal medial». El doctor Carl Zimmer, biólogo, escribe: «La corteza prefrontal medial podría desempeñar para el yo el mismo papel que el hipocampo tiene para la memoria […], podría estar tejiendo continuamente la sensación de ser quienes somos».[9] Dicho de otra manera, puede que esta sea la vía de acceso al concepto del «yo», la

región central del cerebro que combina, integra e imagina una narrativa unificada de quiénes somos. (Esto no significa, sin embargo, que la corteza prefrontal medial sea el homúnculo que lo controla todo desde el interior de nuestro cerebro.)

Si esta teoría es correcta, el cerebro en reposo, cuando estamos tranquilamente soñando despiertos, pensando en nuestros amigos y en nosotros mismos, debería estar más activo de lo normal, aun cuando otras partes de sus regiones sensoriales estén inactivas. De hecho, esto es lo que indican las imágenes cerebrales. El doctor Heatherton concluye: «Pasamos la mayor parte del tiempo soñando despiertos: pensando en algo que nos sucedió o en otras personas. Todo esto refleja introspección».[10]

La teoría espaciotemporal afirma que la conciencia se compone a partir de muchas subunidades del cerebro, cada una de las cuales compite con las demás por crear un modelo del mundo, a pesar de lo cual sentimos que nuestra conciencia es continua. ¿Cómo es esto posible, cuando todos tenemos la sensación de que nuestro «yo» es ininterrumpido y siempre está al mando de la situación?

En el capítulo anterior tratamos el drama de los pacientes con cerebro dividido, que en ocasiones tienen que vérselas con manos que sienten ajenas, que tienen literalmente ideas propias. Parece que existen dos centros de la conciencia conviviendo en un mismo cerebro. Entonces, ¿cómo puede todo esto producir la sensación de que en nuestro cerebro existe un «yo» unificado y cohesionado?

Le planteé esta cuestión a alguien que podría tener la respuesta: el doctor Michael Gazzaniga,[11] que ha dedicado varias décadas al estudio del extraño comportamiento de los pacientes con cerebro dividido. Gazzaniga se había dado cuenta de que el hemisferio izquierdo de estas personas, cuando debía hacer frente al hecho de que, aparentemente, existen dos centros de la conciencia separados en un mismo cráneo, simplemente se inventaba explicaciones extrañas, por ridículas que fueran. Me contó que, cuando se le presentaba una paradoja evidente, el hemisferio izquierdo «fabulaba» una respuesta para explicar los hechos incómodos. El doctor Gazzaniga cree que esto nos proporciona la falsa sensación de que estamos unificados e íntegros. Él se refiere al hemisferio izquierdo como «el intérprete», que piensa constantemente ideas para cubrir las inconsistencias y los vacíos en nuestra conciencia.

En un experimento, él mostraba durante un instante la palabra «rojo» únicamente al hemisferio izquierdo de un paciente, y la palabra «plátano» solo al hemisferio derecho. (Lo que significa que el hemisferio izquierdo, dominante, no tiene conocimiento del plátano.) A continuación, se le pedía al sujeto que cogiese un bolígrafo con la mano izquierda (controlada por el hemisferio derecho) y que dibujase algo. Naturalmente, lo que dibujaba era un plátano. Recordemos que el hemisferio derecho puede hacer esto, porque ha visto el plátano, pero el izquierdo no tiene ni idea de que el plátano se le había mostrado al hemisferio derecho.

Después se le preguntaba por qué había dibujado un plátano. Como quien controla el habla es exclusivamente el hemisferio izquierdo, y puesto que este no sabía nada sobre el plátano, el paciente debería haber respondido «No lo sé». En cambio, lo que respondió fue: «Es más fácil dibujar con esta

mano porque me cuesta menos bajarla». El doctor Gazzaniga indicó que el hemisferio izquierdo estaba tratando de encontrar alguna excusa para este hecho incómodo, aunque el paciente no tenía ni idea de por qué su mano izquierda había dibujado el plátano.

El doctor Gazzaniga concluye diciendo: «Es el hemisferio izquierdo el que interviene en la tendencia humana a buscar orden en el caos, el que intenta que todo encaje en una historia y en un contexto. Parece que se ve impelido a plantear hipótesis sobre la estructura del mundo aun cuando las evidencias indiquen que no existe patrón alguno».[12]

Es de ahí de donde procede nuestra sensación de un «yo» unificado. Aunque la conciencia es un mosaico de tendencias en tensión, y a menudo contradictorias, el hemisferio izquierdo ignora las inconsistencias y llena los vacíos evidentes para proporcionarnos una sensación continua de un único «yo». En otras palabras, el hemisferio izquierdo busca continuamente excusas, algunas de ellas disparatadas y absurdas, para que el mundo tenga sentido. Se pregunta constantemente «¿por qué?» y se inventa excusas, aunque la pregunta no tenga respuesta.

(Probablemente exista una razón evolutiva para el desarrollo de nuestro cerebro dividido. Un consejero delegado experimentado animará en muchas ocasiones a sus subordinados a que tomen posturas opuestas sobre un asunto para fomentar un debate intenso y profundo. Muchas veces la postura correcta surge de la interacción intensa con ideas incorrectas. Análogamente, las dos mitades del cerebro se complementan entre sí y nos proporcionan un análisis pesimista-optimista, o analítico-holístico, de una misma idea. Las dos mitades del cerebro, por lo tanto, se retroalimentan. De hecho, como veremos, pueden darse ciertas formas de enfermedad mental cuando esta interacción se descontrola.)

Ahora que tenemos una teoría efectiva de la conciencia, ha llegado el momento de utilizarla para entender cómo evolucionará la neurociencia en el futuro. Actualmente se están llevando a cabo en neurociencia todo un amplio conjunto de experimentos notables que están alterando todo el panorama científico de una manera fundamental. Haciendo uso del poder del electromagnetismo, los científicos son capaces de explorar los pensamientos de las personas, de enviar mensajes telepáticos, de controlar los objetos que nos rodean mediante telequinesis, de grabar los recuerdos y quizá incluso de potenciar nuestra inteligencia. Puede que la aplicación más inmediata y práctica de esta nueva tecnología sea algo que en otra época se consideró completamente imposible: la telepatía.

SEGUNDA PARTE

LA MENTE SOBRE LA MATERIA

3

Telepatía. Un penique por tus pensamientos

> El cerebro, nos guste o no, es una máquina. Los científicos han llegado a esa conclusión, no porque sean unos aguafiestas mecanicistas, sino porque han acumulado evidencias de que cualquier aspecto de la conciencia puede vincularse con el cerebro.
>
> STEVEN PINKER

Según algunos historiadores, Harry Houdini fue el mago más grande de la historia. Sus asombrosas evasiones de cámaras selladas y bajo llave así como sus proezas en las que ponía en riesgo su propia vida dejaban al público sin aliento. Podía hacer que algunas personas desaparecieran y volvieran a aparecer en los lugares más inesperados. Y podía leer las mentes.

O al menos eso parecía.

Houdini se esforzó por explicar que todo lo que hacía era una ilusión, una serie de ingeniosos actos de prestidigitación. Leer la mente, como él se encargaba de recordar, era imposible. Le molestaba tanto que magos sin escrúpulos engañasen a ricos clientes con chabacanos trucos de manos y sesiones de espiritismo que llegó a recorrer el país desenmascarando esas trampas y prometiendo que sería capaz de replicar cualquier supuesta lectura de la mente que esos charlatanes hubiesen realizado. Incluso participó en un comité organizado por la revista *Scientific American* que ofrecía una generosa recompensa a quien pudiera demostrar sin lugar a dudas que poseía poderes psíquicos. (Nadie pudo nunca reclamar la recompensa.)

Houdini creía que la telepatía era imposible. Pero la ciencia está demostrando que se equivocaba.

La telepatía es actualmente objeto de intensa investigación en universidades de todo el mundo, donde los investigadores ya han logrado utilizar sensores de última generación para leer palabras, imágenes y pensamientos individuales de nuestro cerebro. Esto podría alterar la manera de comunicarnos con víctimas de derrames cerebrales y de accidentes, que están «atrapadas» en sus cuerpos, incapaces de articular sus pensamientos salvo mediante guiños. Pero no es más que el comienzo. La telepatía también podría cambiar radicalmente la manera en que interactuamos con los

ordenadores y con el mundo exterior.

De hecho, en un *Next 5 in 5 Forecast* reciente, que predice cinco avances revolucionarios durante los próximos cinco años, científicos de IBM afirmaron que podremos comunicarnos mentalmente con los ordenadores, en lugar, quizá, de usar el ratón y los comandos de voz.[1] Esto implica usar el poder de la mente para llamar a otras personas por teléfono, pagar con tarjeta de crédito, conducir coches, concertar citas, crear hermosas sinfonías y obras de arte, etcétera. Las posibilidades son infinitas, y parece que todo el mundo —desde los gigantes de la computación a los profesores, pasando por las compañías que desarrollan videojuegos, los estudios de música y hasta el Pentágono— está convergiendo hacia esta tecnología.

La verdadera telepatía, que aparece en las novelas fantásticas y de ciencia ficción, no es posible sin ayuda externa. Como sabemos, el cerebro es eléctrico. En general, cuando un electrón se acelera emite radiación electromagnética. Lo mismo sucede con los electrones que oscilan en el interior del cerebro, que producen ondas de radio. Pero las señales son demasiado débiles para que otros las puedan detectar, e incluso si pudiésemos hacerlo, sería muy difícil comprender su significado. La evolución no nos ha brindado la capacidad de descifrar este conjunto de señales de radio, pero los ordenadores sí pueden hacerlo. Los científicos han logrado obtener lecturas aproximadas de los pensamientos de una persona mediante escáneres electroencefalográficos. Los sujetos se ponían un casco con sensores de electroencefalografía y se concentraban en determinadas fotografías (por ejemplo, la imagen de un coche). A continuación, se grababan las señales en un electroencefalograma para cada imagen, a partir de las cuales se generó un rudimentario diccionario de pensamientos, con una correspondencia unívoca entre los pensamientos de una persona y la imagen del electroencefalograma. Entonces, cuando a una persona se le mostraba una fotografía de otro coche, el ordenador conseguía reconocer que el patrón del electroencefalograma era el correspondiente a un coche.

La ventaja de los sensores de electroencefalografía es que son rápidos y no invasivos. Basta con que el casco, que contiene numerosos electrodos, entre en contacto con la superficie del cráneo, para que el electroencefalograma pueda registrar señales que varían cada milisegundo. Pero el problema de los sensores de electroencefalografía, como ya hemos visto, es que las ondas electromagnéticas se deterioran cuando atraviesan el cráneo, por lo que es difícil localizar su origen con precisión. Este método puede decirnos si estamos pensando en un coche o en una casa, pero no puede recrear la imagen del coche. Aquí es donde entra en escena el trabajo del doctor Jack Gallant.

VÍDEOS DE LA MENTE

El epicentro de gran parte de estas investigaciones es la Universidad de California en Berkeley, donde

yo obtuve mi doctorado en física teórica hace años. Tuve el placer de visitar el laboratorio del doctor Gallant, cuyo grupo ha logrado una proeza que en otra época se consideraba imposible: grabar en vídeo los pensamientos de una persona.[2] «Es un gran avance hacia la reconstrucción de las imágenes internas. Estamos abriendo una ventana a las películas en la mente»,[3] dice Gallant.

Cuando visité su laboratorio, lo primero que llamó mi atención fue el equipo de jóvenes y ávidos estudiantes de doctorado y posdoctorado apiñados frente a las pantallas de sus ordenadores, visionando con atención las imágenes de vídeo que habían reconstruido a partir de un escáner cerebral. Al hablar con el equipo de Gallant, uno siente que está presenciando historia de la ciencia en pleno proceso de construcción.

Gallant me explicó que, primero, el sujeto se tumba en una camilla, que se introduce lentamente, empezando por la cabeza, en una enorme máquina de imagen por resonancia magnética de última generación, cuyo precio supera los tres millones de dólares. Entonces, se le muestran varios vídeos cortos (como tráilers de películas, disponibles en YouTube). Para acumular suficientes datos, el sujeto debe permanecer sin moverse durante varias horas viendo estos vídeos, una tarea realmente ardua. Le pregunté a uno de los posdocs, el doctor Shinji Nishimoto, cómo conseguían encontrar voluntarios dispuestos a permanecer inmóviles durante horas y teniendo solo los vídeos para pasar el tiempo. Me dijo que las mismas personas que estaban allí en la sala, los estudiantes de doctorado y los posdocs, se ofrecían como conejillos de Indias para su propia investigación.

Mientras el sujeto ve los vídeos, la máquina de imagen por resonancia magnética crea una imagen tridimensional del flujo sanguíneo en el cerebro. La imagen obtenida parece un enorme conjunto de puntos o vóxeles. Cada vóxel representa un punto de energía neuronal, y su color depende de la intensidad de la señal y del flujo sanguíneo. Los puntos rojos representan lugares de gran actividad neuronal, mientras que los azules son puntos de menor intensidad. (La imagen final se asemeja mucho a miles de luces de Navidad que recrean la forma del cerebro. Inmediatamente se ve que, cuando se visionan los vídeos, el cerebro concentra la mayor parte de su energía mental en la corteza visual, situada en su parte posterior.)

La máquina de imagen por resonancia magnética de Gallant es tan potente que puede identificar entre doscientas y trescientas regiones cerebrales distintas y, en promedio, puede tomar fotografías con cien puntos por cada región. (Uno de los objetivos de la siguiente generación de máquinas de imagen por resonancia magnética es ofrecer una resolución aún mayor, al incrementar el número de puntos por cada región cerebral.)

Al principio, este conjunto tridimensional de puntos de colores parece poco más que ruido. Pero, tras años de investigación, el doctor Gallant y sus colegas han desarrollado una fórmula matemática que empieza a encontrar relaciones entre determinadas características de una imagen (los bordes, las texturas, la intensidad…) y los vóxeles de la imagen por resonancia magnética. Por ejemplo, si nos fijamos en una frontera, veremos que es una región que separa áreas más claras de otras más

oscuras, por lo tanto, el borde genera cierto patrón de vóxeles. La fórmula matemática se refina haciendo que muchos sujetos vean una gran colección de vídeos, lo cual permite que el ordenador analice cómo se convierten en píxeles de imagen por resonancia magnética todo tipo de imágenes.

En ese momento se le muestra al paciente otro breve vídeo. El ordenador analiza los vóxeles generados durante el visionado y recrea una representación aproximada de la imagen original. (El ordenador selecciona imágenes de los cien fragmentos de película más parecidos al que el sujeto acaba de ver y las combina para producir una representación aproximada.) Así, el ordenador es capaz de generar un vídeo de imágenes difusas que refleja la imaginería visual que atraviesa nuestra mente. La fórmula matemática del doctor Gallant es tan versátil que permite convertir un conjunto de vóxeles de imagen por resonancia magnética en una imagen, o viceversa, a partir de una imagen para obtener los vóxeles de imagen por resonancia magnética.

Tuve la oportunidad de visionar el vídeo que el grupo del doctor Gallant había obtenido, y era muy impresionante. Era como ver con gafas de sol una película con caras, animales, escenas callejeras y edificios. Aunque no era posible distinguir los detalles de cada rostro o animal, sí podía identificar el tipo de objeto que estaba viendo.

Este programa no solo es capaz de descodificar lo que estamos viendo, sino que también puede hacer lo mismo con imágenes imaginarias que circulen por la mente. Supongamos que nos piden que pensemos en la *Mona Lisa*. Gracias a los escáneres de imagen por resonancia magnética sabemos que la corteza visual se activará aunque no estemos viendo el cuadro con nuestros ojos. El programa del doctor Gallant escanea el cerebro mientras pensamos en la *Mona Lisa* y recorre su archivos de imágenes, tratando de encontrar la que mejor encaje. En uno de los experimentos que presencié, el ordenador seleccionó una fotografía de la actriz Salma Hayek como la mejor aproximación a la *Mona Lisa*. Evidentemente, una persona puede reconocer fácilmente cientos de caras, pero no deja de ser impresionante que el ordenador analizase una imagen en el cerebro de una persona y después eligiese esa fotografía de entre los millones que tenía a su disposición.

El objetivo de todo este proceso es crear un diccionario preciso que permita establecer rápidamente la correspondencia entre un objeto del mundo real y el patrón cerebral de la imagen por resonancia magnética. En general, una correspondencia detallada es muy difícil y tardará años en conseguirse, pero ciertas categorías son fáciles de leer con tan solo recorrer unas cuantas fotografías. El doctor Stanislas Dehaene, del Collège de France, en París, estaba examinando imágenes de resonancia magnética del lóbulo parietal, donde se reconocen los números, cuando uno de sus posdocs mencionó que le bastaba con echarle un vistazo al patrón de la imagen por resonancia magnética para saber el número que el paciente estaba viendo. De hecho, algunos números generaban patrones muy característicos en el escáner. Dehaene señala que: «Si tomamos doscientos vóxeles en esta zona, y miramos cuáles de ellos están activos y cuáles inactivos, podemos construir un dispositivo de aprendizaje automático que descodifique el número que se tiene en la memoria».[4]

Esto deja abierta la cuestión de cuándo lograremos tener vídeos de alta calidad de nuestros pensamientos. Por desgracia, cuando una persona visualiza una imagen, se produce una pérdida de información. Los escáneres cerebrales lo confirman. Cuando comparamos una imagen de resonancia magnética del cerebro mirando una flor con otra pensando en una flor, vemos que la segunda tiene muchos menos puntos que la primera. Así que, aunque esta tecnología mejorará enormemente en los próximos años, nunca será perfecta. (Una vez leí un relato corto en el que un hombre se encuentra con un genio que le ofrece crear cualquier cosa que pueda imaginar. Enseguida el hombre le pide un coche de lujo, un avión a reacción y un millón de dólares. Al principio está emocionado. Pero cuando se fija detalladamente en los objetos, se da cuenta de que ni el coche ni el avión tienen motor, y de que la imagen en los billetes está borrosa. No sirven para nada. La razón es que nuestros recuerdos son solo aproximaciones de los objetos reales.)

Pero, teniendo en cuenta la rapidez con la que los científicos están empezando a descodificar los patrones de las imágenes obtenidas por resonancia magnética de nuestro cerebro, ¿podremos pronto leer las palabras y los pensamientos que circulan por la mente?

LEER LA MENTE

De hecho, en un edificio contiguo al laboratorio de Gallant, el doctor Brian Pasley y sus colegas están leyendo, literalmente, el pensamiento (al menos en principio).[5] Uno de sus posdocs, la doctora Sara Szczepanski, me explicó cómo conseguían identificar palabras en el interior de la mente.

Los científicos utilizan una tecnología denominada electrocorticografía (ECOG), que supone una gran mejora respecto al batiburrillo de señales que producen los escáneres de electroencefalografía. Las imágenes de electrocorticografía tienen una precisión y una resolución asombrosas, ya que las señales se graban directamente del cerebro y no atraviesan el cráneo. El problema es que es necesario retirar una parte del cráneo para colocar una malla con sesenta y cuatro electrodos, en una cuadrícula de ocho por ocho centímetros, directamente sobre el cerebro.

Por suerte, obtuvieron permiso para realizar experimentos con escáneres de electrocorticografía en pacientes epilépticos que sufrían fuertes ataques. La malla de electrocorticografía se colocaba sobre el cerebro en el transcurso de una operación de cirugía craneal que llevaban a cabo médicos de la Universidad de California en San Francisco.

Cuando los pacientes oyen distintas palabras, las señales de su cerebro atraviesan los electrodos y se graban. Con el tiempo, se recopila todo un diccionario de correspondencias entre las palabras y las señales que emanan de los electrodos conectados al cerebro. Más adelante, cuando se pronuncia una palabra, se puede observar el mismo patrón eléctrico. Esta correspondencia también significa que si pensamos en determinada palabra el ordenador puede recoger las señales características e

identificarla.

Esta tecnología podría permitirnos mantener una conversación de manera telepática. Asimismo, las víctimas de derrames cerebrales que están completamente paralizadas podrían ser capaces de «hablar» a través de un sintetizador de voz que reconozca los patrones cerebrales de cada palabra.

No resulta nada sorprendente que el campo de la interfaz cerebro-máquina (BMI, por sus siglas en inglés: *Brain-Machine Interface*) esté muy de moda, y que varios grupos de investigación en distintos lugares de Estados Unidos estén realizando avances significativos. Los científicos de la Universidad de Utah también obtuvieron resultados similares en 2011.[6] Colocaron dos rejillas, cada una de ellas con dieciséis electrodos, sobre la corteza motora facial (que controla los movimientos de la boca, los labios, la lengua y la cara) y también sobre el área de Wernicke, que procesa información sobre el lenguaje.

A continuación, se le pedía a la persona que dijese diez palabras comunes, como «sí» y «no», «caliente» y «frío», «hambriento» y «sediento», «hola» y «adiós», y «más» y «menos». En un ordenador se grababan las señales cerebrales mientras la persona pronunciaba las palabras, lo que les permitió crear una correspondencia aproximadamente unívoca entre palabras habladas y señales cerebrales detectadas por el ordenador. Más adelante, cuando el paciente pronunciaba determinadas palabras, eran capaces de identificar correctamente cada una de ellas con una precisión que oscilaba entre el 76 y el 90 por ciento. El siguiente paso será utilizar rejillas con 121 electrodos para obtener una mejor resolución.

En el futuro, este procedimiento podría resultar útil para individuos que hayan sufrido derrames cerebrales o padezcan enfermedades paralizantes, como la esclerosis lateral amiotrófica, quienes podrían hablar utilizando esta técnica de comunicación entre cerebro y ordenador.

ESCRIBIR CON LA MENTE

En la clínica Mayo de Minnesota, el doctor Jerry Shih ha aplicado sensores de electrocorticografía a pacientes epilépticos para que aprendan a escribir con la mente. Calibrar este aparato es sencillo. Primero, se le muestran al paciente una serie de letras y se le dice que se concentre en cada símbolo. Como sucede en los demás experimentos, una vez que se ha creado este diccionario unívoco, es fácil hacer que, cuando la persona piense en la letra, esta aparezca en la pantalla, utilizando únicamente el poder de la mente.

El doctor Shih, quien lidera este proyecto, dice que la precisión de esta máquina se aproxima al cien por cien. Cree que podrá también crear una máquina que grabe las imágenes, no solo las palabras, que los pacientes piensen. Esto puede tener aplicaciones para artistas y arquitectos,[7] pero el gran inconveniente de la electrocorticografía, como ya hemos comentado, es que requiere que se

abra el cráneo de los pacientes.

Entretanto, las máquinas de escribir mediante electroencefalografía, que no son invasivas, están llegando al mercado. No son tan precisas como las de electrocorticografía, pero tienen la ventaja de que se pueden vender sin necesidad de autorización médica. Recientemente, la empresa Guger Technologies, con sede en Austria, hizo una demostración de una máquina de escribir mediante electroencefalografía en una feria del sector. Según sus ejecutivos, una persona tarda solo unos diez minutos en aprender cómo usar este aparato, y después puede escribir a una velocidad de entre cinco y diez palabras por minuto.[8]

DICTADOS Y MÚSICA TELEPÁTICOS

El paso siguiente podría ser el de transmitir conversaciones enteras, lo que aceleraría rápidamente la transmisión telepática. El problema, sin embargo, es que eso exigiría crear una correspondencia unívoca entre miles de palabras y sus señales electroencefalográficas, de imagen por resonancia magnética o electrocorticografía. Pero si pudiésemos, por ejemplo, identificar las señales cerebrales de varios cientos de palabras concretas, entonces podríamos transmitir rápidamente las palabras que se utilizan en una conversación típica. Eso significa que pensaríamos en las palabras que componen frases o párrafos enteros de una conversación y el ordenador las reproduciría.

Esto podría ser extremadamente útil para periodistas, escritores, novelistas y poetas, a quienes les bastaría con pensar para que el ordenador tomase el dictado. El ordenador se convertiría en un secretario mental. Podríamos darle instrucciones mentalmente al robot-secretario sobre una cena, los planes de un viaje o unas vacaciones, y él completaría todos los detalles de las reservas.

No solo un dictado, también la música podría un día transcribirse de esta manera. Un músico solo tendrían que tararear unas pocas melodías en su cabeza y el ordenador las reproduciría en notación musical. Para hacerlo, primero se le pediría a la persona que tararease mentalmente una serie de notas, cada una de las cuales emitiría unas señales eléctricas características. De nuevo, esto permitiría generar un diccionario para que, cuando pensásemos en una nota musical, el ordenador la reprodujese en notación musical.

En la ciencia ficción es habitual que los telépatas puedan comunicarse sin preocuparse de las barreras idiomáticas, ya que se considera que los pensamientos son universales. Sin embargo, puede que esto no sea cierto. Puede que las emociones y los sentimientos sean no verbales y universales, lo que nos permitiría transmitírselos telemáticamente a cualquier persona, pero el pensamiento racional está tan íntimamente relacionado con el lenguaje que es muy poco probable que se pudieran enviar pensamientos complejos saltándose las barreras idiomáticas. Las palabras se mandarían telepáticamente en el idioma original.

CASCOS DE TELEPATÍA

En la ciencia ficción también nos encontramos muchas veces con cascos de telepatía. Nos los ponemos y ya está: podemos leer la mente de los demás. De hecho, el ejército estadounidense ha mostrado interés por esta tecnología. En combate, con los estallidos de las explosiones y el zumbido de las balas, un casco de telepatía podría salvar vidas, ya que la voz es de poca utilidad para dar órdenes en el fragor del campo de batalla. (Yo puedo dar fe de ello. Hace años, durante la guerra de Vietnam, serví en la Infantería estadounidense en Fort Benning, a las afueras de Atlanta, en Georgia. Durante las prácticas con ametralladora, el ruido de las granadas de mano y de las ráfagas de balas que se disparaban a mi alrededor en el campo de entrenamiento resultaba ensordecedor: era tan intenso que no podía oír nada más. El pitido agudo en el oído me duró tres días.) Con un casco de telepatía, un soldado podría comunicarse mentalmente con su pelotón entre todo el estruendo y el ruido.

Recientemente, el ejército le concedió una beca de 6,3 millones de dólares al doctor Gerwin Schalk, del Albany Medical College, para su investigación aunque es consciente de que aún quedan bastantes años para poder disponer de un casco de telepatía completamente funcional. El doctor Schalk experimenta con tecnología de electrocorticografía que, como hemos visto, requiere colocar una malla de electrodos directamente sobre el cerebro de los pacientes epilépticos a los que se somete a cirugía craneal. Con este método, sus ordenadores han sido capaces de reconocer las vocales y treinta y seis palabras distintas en el interior del cerebro. En alguno de estos experimentos la precisión rozó el cien por ciento. Pero, en la actualidad, aún no resulta práctico para el ejército, ya que requiere que se retire parte del cráneo en el entorno limpio y estéril de un hospital. E incluso en ese caso, reconocer las vocales y unas cuantas palabras aún dista mucho de poder enviar mensajes urgentes al centro de mando en pleno combate. Pero sus experimentos con electrocorticografía han demostrado que sería posible comunicarse mentalmente en el campo de batalla.

Otro método es el que está explorando el doctor David Poeppel,[9] de la Universidad de Nueva York. En lugar de abrir el cráneo de sus pacientes, emplea tecnología de magnetoencefalografía, que utiliza pequeñas descargas de energía magnética en lugar de electrodos para crear cargas eléctricas en el cerebro. Aparte de no ser invasiva, la ventaja de esta tecnología es que puede medir con precisión la actividad neuronal de corta duración, a diferencia de los escáneres de imagen por resonancia magnética, que son más lentos. En sus experimentos, Poeppel ha logrado registrar la actividad eléctrica en la corteza auditiva cuando las personas piensan en determinada palabra en silencio. El inconveniente es que para la grabación aún es necesario el uso de máquinas grandes, del tamaño de una mesa, con las que se genera el pulso magnético.

Obviamente, lo ideal sería un método no invasivo, portátil y preciso. El doctor Poeppel confía en que su trabajo con la tecnología de magnetoencefalografía se complemente con el que se está realizando con sensores de electroencefalografía. Pero pasarán muchos años antes de que tengamos cascos de telepatía reales, porque tanto los escáneres de magnetoencefalografía como los de electroencefalografía adolecen de falta de precisión.

IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL TELÉFONO MÓVIL

En la actualidad, estamos limitados por lo relativamente rudimentarios que son nuestros instrumentos. Pero, con el tiempo, cada vez habrá más instrumentos que nos permitan explorar las profundidades del cerebro. El siguiente avance puede venir en forma de aparatos de imagen por resonancia magnética portátiles.

El motivo por el que las máquinas de imagen por resonancia magnética deben ser tan enormes actualmente es que se necesita que el campo magnético sea uniforme para obtener una buena resolución. Cuanto más grande sea el imán, más uniforme será el campo y mejor la resolución de la imagen final. Pero los físicos conocen con exactitud las propiedades matemáticas de los campos magnéticos (James Clerk Maxwell fue el primero en determinarlas, en la década de 1860). En 1993, en Alemania, el doctor Bernhard Blümich y sus colegas crearon el aparato de imagen por resonancia magnética más pequeño del mundo, del tamaño de una maleta convencional.[10] Utiliza un campo magnético débil y distorsionado, pero los superordenadores pueden analizarlo e introducir las correcciones pertinentes para que el aparato genere imágenes tridimensionales realistas. Puesto que la potencia de computación se duplica aproximadamente cada dieciocho meses, ahora son tan pequeños y potentes como para analizar el campo magnético creado por el aparato del tamaño de una maleta y compensar su distorsión.

Como demostración del funcionamiento de su máquina, en 2006 el doctor Blümich y sus colegas pudieron tomar imágenes por resonancia magnética de Ötzi, el «Hombre de Hielo» que quedó atrapado en el hielo hace unos cinco mil trescientos años, en las postrimerías de la última era glacial. Como Ötzi estaba congelado en una postura extraña, con los brazos extendidos, no era fácil introducirlo en el pequeño cilindro de una máquina de imagen por resonancia magnética convencional, pero el aparato portátil del doctor Blümich pudo captar las imágenes fácilmente.

Estos físicos estiman que, con el aumento de la potencia de cálculo, en el futuro una máquina de imagen por resonancia magnética podrá ser del tamaño de un teléfono móvil. Los datos obtenidos con el débil campo magnético generado por este teléfono móvil se enviarán mediante una conexión inalámbrica a un superordenador, que los procesará y creará una imagen tridimensional. (La baja intensidad del campo magnético se compensa con el aumento de la potencia de cálculo.) Esto podría

acelerar mucho la investigación. «A fin de cuentas, puede que algo como el tricorder de *Star Trek* no esté tan lejos», dice el doctor Blümich. (El tricorder es un pequeño escáner de mano que proporciona un diagnóstico instantáneo de cualquier enfermedad.) En el futuro tendremos más capacidad de computación en nuestro botiquín de la que hoy en día posee un hospital universitario moderno. En lugar de esperar a obtener permiso de un hospital o una universidad para utilizar una costosa máquina de imagen por resonancia magnética, podremos recopilar los datos en nuestra propia casa con tan solo pasarnos el escáner de imagen por resonancia magnética portátil por encima y después enviarlos por correo electrónico a un laboratorio para que los analice.

También podría significar que, en algún momento futuro, podrán existir los cascos de telepatía por imagen por resonancia magnética, con una resolución muy superior a la del escáner de electroencefalografía. Esto es lo que podría suceder en las décadas venideras: el casco tendrá en su interior unas bobinas electromagnéticas para generar el campo magnético débil y los pulsos de radio con los que explorar el cerebro. Las señales de imagen por resonancia magnética sin tratar se enviarán a un ordenador de bolsillo que llevaremos en el cinturón. A continuación, la información se transmitirá por radio a un servidor situado lejos del campo de batalla. El procesamiento final de los datos lo realizaría un superordenador en una ciudad lejana. Después, el mensaje se radiotransmitiría de vuelta a los soldados sobre el terreno. Estos lo escucharían a través de un auricular o bien mediante electrodos situados en la corteza auditiva de sus cerebros.

DARPA Y LOS HUMANOS MEJORADOS

A la vista del coste de toda esta investigación, es legítimo preguntar: ¿quién la paga? El interés de las empresas privadas por esta tecnología avanzada es reciente, pero para muchas de ellas financiar una investigación que podría no llegar a dar resultados sigue siendo una apuesta arriesgada. Así que uno de los mayores impulsores es DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa, del Pentágono, que ha liderado el desarrollo de algunas de las tecnologías más importantes del siglo XX.

Fue fundada por el presidente Dwight Eisenhower después de que los rusos pusiesen en órbita el *Sputnik* en 1957 y asombrasen al mundo. Tras tomar conciencia de que los soviéticos pronto superarían a Estados Unidos en alta tecnología, Eisenhower se apresuró a crear esta agencia para preservar la competitividad del país con los rusos. A lo largo de los años, los numerosos proyectos iniciados por la DARPA crecieron hasta convertirse en entidades independientes por sí mismos. Uno de los primeros en hacerlo fue la NASA.

El plan estratégico de la DARPA parece sacado de una obra de ciencia ficción: su «única regla es la innovación radical». La sola justificación para su existencia es «acelerar la llegada del futuro».[11] Los

científicos de la DARPA están continuamente ampliando los horizontes de lo que es físicamente posible. Según Michael Goldblatt, antiguo funcionario de la DARPA, procuran no violar las leyes de la física, «o al menos no de manera consciente. O al menos no más de una vez por proyecto».

Pero lo que distingue a la DARPA de la ciencia es su historial, que es realmente apabullante. Uno de sus primeros proyectos, a principios de la década de 1960, fue Arpanet, una red de telecomunicaciones pensada para tiempos de guerra que conectaría electrónicamente a los científicos y a los funcionarios durante y tras la Tercera Guerra Mundial. En 1989, la National Science Foundation decidió que, tras la descomposición del bloque soviético, ya no era necesario mantener esta tecnología en secreto, así que la desclasificó y permitió el acceso gratuito a los códigos y los planos. Arpanet acabaría convirtiéndose en internet.

Cuando las Fuerzas Aéreas estadounidenses necesitaron encontrar la manera de guiar sus misiles balísticos por el espacio aéreo, la DARPA colaboró en la creación del Proyecto 57, un programa de alto secreto diseñado para dirigir bombas de hidrógeno contra los silos blindados de los misiles soviéticos en caso de un conflicto termonuclear. Más tarde, este proyecto constituiría los cimientos del sistema de posicionamiento global (GPS). En lugar de guiar misiles, hoy guía a los automovilistas perdidos.

La DARPA ha sido un actor clave en una serie de inventos que han alterado el curso de los siglos XX y XXI, entre los que se cuentan el teléfono móvil, las gafas de visión nocturna, las telecomunicaciones y los satélites meteorológicos. He tenido la oportunidad de interactuar con científicos y funcionarios de la DARPA en varias ocasiones. Una vez comí con un ex director de la DARPA[12] en un recepción repleta de científicos y futuristas, y le hice una pregunta que llevaba tiempo incordiándome: ¿por qué tenemos que recurrir a los perros para olfatear las maletas en busca de explosivos? Seguro que disponemos de sensores lo suficientemente sensibles para detectar trazas reveladoras de los compuestos químicos de los explosivos. Me contestó que la DARPA había investigado activamente la cuestión y se había topado con varios problemas técnicos importantes. Los sensores olfativos de los perros, me dijo, habían evolucionado durante millones de años para poder detectar un puñado de moléculas, y ese grado de sensibilidad es extremadamente difícil de igualar, incluso con nuestros sensores más afinados. En el futuro cercano es probable que sigamos utilizando perros en los aeropuertos.

En otra ocasión,[13] un grupo de físicos e ingenieros de la DARPA asistieron a una de mis conferencias sobre el futuro de la tecnología. Tras la charla, les pregunté qué cosas les preocupaban. Una de sus preocupaciones, me respondieron, era su imagen pública. La mayoría de la gente nunca ha oído hablar de la DARPA, pero hay quien la relaciona con oscuras y ominosas conspiraciones gubernamentales, cosas como el ocultamiento de la existencia de los ovnis, el Área 51, Roswell, el control del clima… Suspiraron. Si esos rumores fuesen ciertos, ¡seguro que podrían usar tecnología extraterrestre para avanzar en sus investigaciones!

Con un presupuesto de tres mil millones de dólares, la DARPA tiene en su punto de mira la interfaz cerebro-máquina. Al comentar sus posibles aplicaciones, Michael Goldblatt, el antiguo funcionario de la DARPA, deja volar su imaginación: «Imaginemos que los soldados pudiesen comunicarse usando únicamente el pensamiento… Imaginemos que la amenaza de un ataque biológico perdiese toda trascendencia. Y pensemos por un momento en un mundo en el que aprender fuese tan fácil como comer, y el recambio de partes del cuerpo deterioradas tan cómodo como comprar comida rápida desde el coche. Por increíbles que estas ideas suenen, o por difícil que nos puedan parecer llevarlas a la práctica, constituyen el trabajo diario de la Oficina de Ciencias para la Defensa (una rama de la DARPA)».[14]

Goldblatt cree que los historiadores dictaminarán que el legado a largo plazo de la DARPA será la mejora de la humanidad, «nuestra futura fuerza histórica». Señala que el famoso eslogan del ejército estadounidense, «Sé todo lo que puedas ser», adquiere un nuevo significado si pensamos en las posibles consecuencias de la mejora de los seres humanos. Quizá no sea una coincidencia el hecho de que Michael Goldblatt sea un decidido impulsor de la mejora de los seres humanos en la DARPA. Su propia hija sufre una parálisis cerebral y ha vivido siempre confinada a una silla de ruedas. Puesto que necesita ayuda, su enfermedad ha supuesto un obstáculo para ella, pero siempre ha conseguido superar las adversidades. Va a entrar en la universidad y sueña con fundar su propia empresa. Goldblatt reconoce que su hija es su fuente de inspiración. Como ha señalado Joel Garreau, editor de *The Washington Post*: «Lo que está haciendo es dedicar millones y más millones de dólares a lo que bien podría ser el siguiente paso en la evolución humana. Y se da la circunstancia de que la tecnología que está contribuyendo a crear podría algún día permitirle a su hija no solo caminar, sino trascender».[15]

PROBLEMAS DE PRIVACIDAD

Cuando se oye hablar de máquinas para leer la mente, lo más normal es que cualquiera se preocupe por la privacidad. La idea de que una máquina oculta en alguna parte esté leyendo nuestros pensamientos íntimos sin nuestro permiso es inquietante. La conciencia humana, como ya hemos puesto de manifiesto, implica la simulación constante del futuro. Para que estas simulaciones sean precisas, a veces imaginamos escenarios que rozan lo inmoral o lo ilegal, pero tanto si los llevamos a la práctica como si no, preferimos mantenerlos en privado. A veces parece que la vida sería más fácil si pudiésemos simplemente leer los pensamientos de los demás mediante dispositivos portátiles (en lugar de utilizar aparatosos cascos o tener que abrirles el cráneo quirúrgicamente), pero las leyes de la física hacen que esto sea extremadamente difícil.

Cuando le pregunté al doctor Nishimoto,[16] que trabaja en el laboratorio del doctor Gallant en

Berkeley, sobre la cuestión de la privacidad, sonrió y me respondió que las señales de radio se degradan bastante rápido cuando salen del cerebro, por lo que serían demasiado difusas y débiles para que alguien que estuviese a más de un par de metros de distancia pudiese interpretarlas. (En la escuela aprendimos que, según la ley de Newton, la intensidad de la fuerza gravitatoria disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, de manera que si la distancia a una estrella se multiplica por dos, el campo gravitatorio disminuye en un factor cuatro. Pero los campos magnéticos decaen mucho más rápido con la distancia. La mayoría de las señales decrecen de forma inversamente proporcional al cubo o la cuarta potencia de la distancia, de manera que si se multiplica por dos la distancia a una máquina de imagen por resonancia magnética, el campo decae en un factor ocho o mayor.)

Además, habría también interferencias del mundo exterior, lo que ocultaría las débiles señales provenientes del cerebro. Esta es una de las razones por las que los científicos necesitan trabajar en condiciones de laboratorio estrictas, e incluso así solo son capaces de extraer unas pocas letras, palabras o imágenes de un cerebro en funcionamiento. La tecnología no está preparada para registrar la avalancha de pensamientos que normalmente circulan por nuestro cerebro cuando pensamos simultáneamente en varias letras, palabras, frases o informaciones sensoriales, por lo que utilizar estos dispositivos para leer la mente, como se ve en las películas, no es posible hoy en día ni lo será en las próximas décadas.

En el futuro próximo, los escáneres cerebrales seguirán necesitando tener acceso directo al cerebro humano en condiciones de laboratorio. Pero, en el caso muy poco probable de que alguien en el futuro encuentre la manera de leer los pensamientos a distancia, seguiría habiendo contramedidas posibles. Para mantener en privado nuestros pensamientos más importantes, podríamos utilizar un escudo que evitase que nuestras ondas cerebrales acabaran en las manos equivocadas. Esto se puede conseguir con lo que se llama una jaula de Faraday, inventada por el gran físico británico Michael Faraday en 1836, aunque el efecto ya lo había observado Benjamin Franklin. Básicamente, la electricidad se dispersa rápidamente alrededor de una jaula de metal, de manera que en su interior el campo eléctrico es nulo. Para demostrar este hecho, los físicos (yo mismo) nos hemos metido en una jaula metálica sobre la que impactaban enormes rayos eléctricos. Milagrosamente, estamos sanos y salvos. Este es el motivo por el que los aviones pueden soportar el impacto de un rayo y la razón por la que los cables están recubiertos por hilos metálicos. Análogamente, un escudo de telepatía consistiría en una fina lámina metálica alrededor del cerebro.

TELEPATÍA MEDIANTE NANOSONDAS EN EL CEREBRO

Hay otra manera de resolver parcialmente el problema de la privacidad, así como la dificultad de

colocar sensores de electrocorticografía en el cerebro. En el futuro, se podría utilizar la nanotecnología, la capacidad de manipular átomos individuales, para insertar en el cerebro nanosondas con las que acceder a nuestros pensamientos. Estas nanosondas estarían hechas de nanotubos de carbono, que conducen la electricidad y son tan delgados como las leyes de la física lo permiten. Estos nanotubos están compuestos de átomos de carbono dispuestos en un tubo de unas pocas moléculas de grosor. (Son objeto de un intenso interés científico y en las próximas décadas se espera que revolucionen la manera en la que los científicos exploran el cerebro.)

Las nanosondas se colocarían precisamente en las áreas del cerebro dedicadas a determinadas actividades. Para captar el habla y el lenguaje, se situarían en el lóbulo temporal izquierdo. Para procesar las imágenes visuales, habría que ubicarlas en el tálamo y en la corteza visual. Las emociones se transmitirían mediante nanosondas situadas en la amígdala y en el sistema límbico. Las señales de estas nanosondas se enviarían a un ordenador, que las procesaría y remitiría por conexión inalámbrica a un servidor, y de ahí a internet.

Los problemas de privacidad se resolverían en parte, puesto que podríamos controlar completamente cuándo se envían nuestros pensamientos a través de cables o por internet. Cualquiera que pase cerca puede detectar las señales de radio, pero no sucede lo mismo con las señales eléctricas que se trasmiten por cable. También se resolvería el problema de abrir el cráneo y utilizar aparatosas mallas de electrocorticografía, porque las nanosondas podrían introducirse mediante microcirugía.

Algunos escritores de ciencia ficción han conjeturado que, en el futuro, al nacer, a los bebés se les implantarán estas sondas, sin dolor, de manera que la telepatía para ellos sería algo connatural. Por ejemplo, en *Star Trek*, al nacer, a los niños Borg se les colocan sistemáticamente unos implantes que les permiten comunicarse telepáticamente entre sí. Estos niños no pueden imaginar un mundo donde no exista la telepatía. Dan por supuesto que la telepatía es la norma.

Como las nanosondas son minúsculas, resultarían invisibles para el mundo exterior, porque lo que no provocarían ostracismo social. Aunque a la sociedad le podría desagradar la idea de insertar sondas en el cerebro con carácter permanente, los escritores de ciencia ficción creen que la utilidad de las nanosondas harían que la sociedad se acostumbrase a la idea, igual que hoy acepta a los niños probeta, a pesar de la controversia que los rodeó inicialmente.

PROBLEMAS LEGALES

En el futuro próximo, la cuestión no será si alguien podrá leer nuestros pensamientos en secreto mediante algún dispositivo remoto y oculto, sino si permitiremos que se registren voluntariamente. ¿Qué sucederá, entonces, si una persona sin escrúpulos accede a esas grabaciones? Esto suscita dudas éticas, puesto que no querríamos que nadie leyese nuestros pensamientos contra nuestra voluntad.

Sobre este asunto, el doctor Brian Pasley afirma: «Hay interrogantes éticos, no tanto sobre la investigación actual, como sobre sus posibles extensiones. Tiene que existir un equilibrio. Si conseguimos de alguna manera descodificar instantáneamente los pensamientos de una persona, eso sería enormemente beneficioso para las miles de personas que actualmente padecen graves discapacidades que les impiden comunicarse. Por otra parte, también se abren grandes interrogantes sobre la posibilidad de que esta tecnología se utilizase con personas que no lo deseasen».[17]

Una vez que sea posible leer la mente de las personas y realizar grabaciones nos enfrentaremos a todo un abanico de cuestiones éticas y legales, algo que sucede cada vez que aparece una tecnología nueva. Tradicionalmente, lo habitual ha sido que las leyes tarden años en dar una respuesta completa a las implicaciones de esa nueva tecnología.

Por ejemplo, habría que reescribir las leyes de propiedad intelectual. ¿Qué sucede si alguien roba un invento al leer los pensamientos del creador original? ¿Podríamos patentar nuestros pensamientos? ¿Quién es realmente el dueño de una idea?

Otro problema surge cuando interviene el gobierno. John Perry Barlow, poeta y letrista de Grateful Dead, afirma: «Pedirle al gobierno que proteja nuestra privacidad es como pedirle a un voyeur que nos instale unas persianas». ¿Estaría permitido que las autoridades leyesen nuestros pensamientos mientras nos interrogan? Por los tribunales ya han pasado casos en los que un supuesto delincuente se ha negado a entregar su ADN como prueba. En el futuro, ¿podrá el gobierno leer nuestros pensamientos sin nuestro consentimiento? Y, si es así, ¿se aceptaría esto como prueba en un juicio? ¿Sería fiable? De la misma manera que los detectores de mentiras de imagen por resonancia magnética miden únicamente el aumento de actividad cerebral, es importante señalar que pensar en un delito y cometerlo realmente son dos cosas distintas. En el juicio, el abogado de la defensa podría argumentar que esos pensamientos no eran más que elucubraciones intrascendentes.

Otra zona gris es la que tiene que ver con los derechos de las personas paralíticas. A la hora de redactar un testamento u otro documento legal, ¿bastaría con un escáner cerebral para darle validez? Supongamos que una persona completamente paralítica tiene sus facultades mentales intactas y quiere firmar un contrato para gestionar sus bienes. Suponiendo que la tecnología no fuese perfecta, ¿serían legales estos documentos?

Ninguna ley física puede dar respuesta a estas cuestiones éticas. En última instancia, a medida que la tecnología vaya madurando, se irán resolviendo en los tribunales, por los jueces y jurados.

Entretanto, los gobiernos y las empresas podrían tener que inventar nuevas maneras de evitar el espionaje mental. El espionaje industrial ya mueve miles de millones de dólares, y gobiernos y empresas construyen costosas «salas seguras», que se han revisado buscando micrófonos ocultos y otros aparatos de escucha. En el futuro (suponiendo que se invente un método para poder escuchar las ondas cerebrales a distancia), esas salas seguras tendrán que diseñarse para evitar que las ondas cerebrales se filtren accidentalmente al mundo exterior. Estarán rodeadas de paredes metálicas, que

formarán una jaula de Faraday que aísle el interior de la habitación del mundo exterior.

Cada vez que hemos aprendido a utilizar una nueva forma de radiación, los espías han intentado sacar provecho de ella, y las ondas cerebrales probablemente no serán una excepción. El caso más famoso es el de un pequeño aparato de microondas oculto en el Gran Sello de Estados Unidos en la embajada estadounidense en Moscú. Entre 1945 y 1952 transmitió mensajes de alto secreto de los diplomáticos estadounidenses directamente a los soviéticos. Incluso durante la crisis de Berlín de 1948 y la guerra de Corea, los soviéticos utilizaron este aparato de escucha para descifrar los planes estadounidenses. Podría haber seguido filtrando secretos indefinidamente, incluso hasta hoy, alterando el curso de la guerra fría y de la historia mundial, pero fue descubierto accidentalmente cuando un ingeniero británico escuchó conversaciones secretas en una banda de frecuencia de radio libre. Los ingenieros estadounidenses se llevaron una buena sorpresa al desmontar el aparato: habían sido incapaces de detectarlo durante años porque era pasivo, no necesitaba una fuente de energía. (Los soviéticos se las habían ingeniado para proporcionarle energía con un haz de microondas enviado desde una fuente remota.) Es posible que en el futuro se fabriquen aparatos de espionaje que intercepten también las ondas cerebrales.

Aunque buena parte de esta tecnología está aún en estadios primitivos, la telepatía se está convirtiendo poco a poco en algo habitual. En el futuro podríamos interactuar con el mundo a través de la mente. Pero los científicos quieren ir más allá de la mera lectura de la mente, que es pasiva. Quieren asumir un papel activo: mover objetos con la mente. La telequinesis es un poder que tradicionalmente se asocia a los dioses. Es el poder divino de moldear la realidad de acuerdo con nuestros deseos. Es la máxima expresión de nuestros pensamientos y anhelos.

Pronto disfrutaremos de ella.

4

Telequinesis. Controlar la materia con la mente

> El futuro se caracteriza por ser peligroso […] Los grandes avances de la civilización son procesos capaces de destruir casi por completo las sociedades en los que se producen.
>
> ALFRED NORTH WHITEHEAD

Cathy Hutchinson está atrapada en su cuerpo.

Hace catorce años, un derrame cerebral severo la dejó tetrapléjica. Ella, como miles de pacientes «encerrados» que han perdido el control de la mayoría de sus músculos y funciones corporales, pasa la mayor parte del día tumbada e inerme, y requiere una atención continua, pero su mente está lúcida. Es una prisionera en su propio cuerpo.

No obstante, en mayo de 2012 su fortuna cambió radicalmente. Los científicos de la Universidad de Brown colocaron en la parte superior de su cerebro un pequeño chip, llamado Braingate, conectado por cable a un ordenador. Sus señales cerebrales se transmiten, a través del ordenador, a un brazo mecánico robótico. Simplemente con pensar, ha aprendido progresivamente a controlar el movimiento del brazo para poder, por ejemplo, agarrar una bebida embotellada y acercársela a la boca. Por primera vez tiene cierto control sobre el mundo que la rodea.

Como su parálisis le impide hablar, comunicó su emoción con movimientos de los ojos. Un dispositivo sigue el desplazamiento de sus ojos y lo traduce a un mensaje escrito. Cuando le preguntaron cómo se sentía, tras años atrapada en un caparazón llamado cuerpo, respondió: «¡Eufórica!». Impaciente por que llegue el día en que el resto de sus miembros se conecten a su cerebro por ordenador, dijo: «Me encantaría tener piernas robóticas».[1] Antes de sufrir el derrame, le encantaba cocinar y cuidar de su jardín. «Sé que algún día volveré a hacerlo», añadió. Al ritmo al que avanza el campo de las ciberprótesis, puede que pronto vea cumplido su deseo.

El profesor John Donoghue y sus colegas en las Universidades de Brown y de Utah han creado un pequeño sensor que actúa como puente con el mundo exterior para quienes no pueden comunicarse. Cuando lo entrevisté, me contó que: «Hemos tomado este pequeño sensor del tamaño de una aspirina

infantil, cuatro milímetros, y lo hemos implantado en la superficie del cerebro. Con sus noventa y seis finos “pelos” o electrodos que captan los impulsos cerebrales, puede detectar señales de la intención de mover un brazo. Nos centramos en el brazo por su importancia».[2] Como a lo largo de varias décadas hemos ido trazando un detallado mapa de la corteza motora, es posible colocar el chip directamente sobre las neuronas que controlan determinado miembro.

La clave del Braingate está en que traduce señales neuronales del chip en órdenes que pueden mover objetos en el mundo real, empezando con el cursor de una pantalla de ordenador. Donoghue me contó que, para conseguirlo, le pide al paciente que imagine que mueve el cursor de una determinada manera (por ejemplo, hacia la derecha). Solo se tarda unos minutos en registrar las señales cerebrales correspondientes a esta tarea. Así, el ordenador reconoce que, cuando detecte una señal de ese tipo, debe mover el cursor hacia la derecha.

A continuación, en un ensayo real, cada vez que la persona piensa en mover el cursor hacia la derecha, el ordenador lo hace. De esta manera, se establece una correspondencia unívoca entre determinadas acciones que el paciente imagina y las propias acciones en sí. Un paciente puede empezar inmediatamente a controlar el movimiento del cursor, prácticamente al primer intento.

El Braingate abre la puerta a un nuevo mundo de neuroprótesis, que permitirán que una persona paralítica pueda mover miembros artificiales con la mente, además de comunicarse directamente con sus seres queridos. La primera versión de este chip, probada en 2004, se diseñó para que pacientes que sufrían parálisis pudieran comunicarse con un ordenador portátil. Poco después, estos pacientes navegaban por internet, leían y escribían correos electrónicos, y controlaban sus sillas de ruedas.

Más recientemente, se incorporó una neuroprótesis a las gafas del cosmólogo Stephen Hawking. Como un sensor de electroencefalograma, esta prótesis conecta sus pensamientos a un ordenador, lo que le permite mantener cierto contacto con el mundo exterior. Aún es bastante rudimentaria, pero con el tiempo ganará en sofisticación, y tendrá más canales y una mayor sensibilidad.

Todo esto, me dijo el doctor Donoghue, podría tener un efecto profundo sobre la vida de estos pacientes: «Otra cosa útil es que podemos conectar el ordenador a cualquier aparato: una tostadora, una cafetera, una máquina de aire acondicionado, un interruptor de la luz, una máquina de escribir… En realidad, hoy en día es muy fácil hacer cosas como estas, y por muy poco dinero. Una persona tetrapléjica, incapaz de desplazarse, podrá cambiar el canal del televisor, encender las luces y hacer todas estas cosas sin que nadie tenga que venir a hacerlas por ella». Llegará el momento en que serán capaces de hacer todo lo que una persona normal puede hacer, a través de ordenadores.

CURAR LESIONES DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Varios otros grupos están entrando en escena. Otro avance ha sido el que protagonizaron los

científicos de la Universidad de Northwestern que conectaron el cerebro de un mono directamente a su propio brazo, eludiendo una lesión en la columna vertebral. En 1995, asistimos a la triste historia de Christopher Reeve —cuyo personaje voló por el espacio exterior en las películas de *Superman*— quien acabó completamente paralítico por una lesión en la columna vertebral. Por desgracia, se cayó de un caballo y se golpeó el cuello, quedando su columna vertebral dañada justo por debajo de la cabeza. Si hubiese vivido más tiempo, podría haber visto el trabajo de los científicos que buscan utilizar ordenadores para sustituir una columna vertebral rota. Solo en Estados Unidos, más de doscientas mil personas sufren algún tipo de lesión de la columna vertebral.[3] En otra época, esos individuos habrían muerto poco después del accidente, pero, gracias a los avances en el tratamiento de traumatismos agudos, el número de personas que sobreviven a este tipo de lesiones ha aumentado en años recientes. También nos persiguen las imágenes de los miles de combatientes víctimas de las minas antipersonales en Irak y Afganistán. Y, si contamos también a las personas paralizadas por derrames cerebrales y esclerosis lateral amiotrófica (ELA), el número de pacientes se eleva hasta los dos millones.

Los científicos de la Universidad de Northwestern utilizaron un chip con cien electrodos, que colocaron directamente sobre el cerebro de un mono. Se registraron detalladamente las señales cerebrales cuando el mono agarraba una pelota, la levantaba y la soltaba en un tubo. Como cada tarea se corresponde con la activación de determinadas neuronas, los científicos pudieron descodificar gradualmente estas señales.

Cuando el mono quería mover el brazo, las señales se procesaban en un ordenador utilizando este código y, en lugar de transmitir los mensajes a un brazo mecánico, se enviaban directamente a los nervios del brazo real del mono.[4] «Estamos interceptando las señales eléctricas naturales del cerebro que le dicen al brazo y a la mano cómo han de moverse, y se las transmitimos directamente a los músculos»,[5] dice el doctor Lee Miller.

Por ensayo y error, el mono aprendió a coordinar los músculos de su brazo. «Existe un proceso de aprendizaje motor que es muy similar al que experimentamos cuando aprendemos a utilizar un nuevo ordenador, un ratón o una raqueta de tenis diferente», añade Miller.

(Llama la atención el hecho de que el mono pudiese controlar tantos movimientos de su brazo, teniendo en cuenta que el chip que se le insertó en el cerebro solo tenía cien electrodos. El doctor Miller señala que en el control del brazo intervienen millones de neuronas. La razón por la que con cien electrodos se puede obtener una aproximación razonable al resultado de la actuación de millones de neuronas es que el chip se conecta a dicho resultado, una vez que el cerebro ya ha llevado a cabo el procesamiento complejo. Una vez realizado el elaborado análisis, los cien electrodos se encargan únicamente de comunicar esa información al brazo.)

Este aparato es uno de entre los varios que se están desarrollando en la Universidad de Northwestern y que permitirán a los pacientes superar sus lesiones de médula espinal. Otra prótesis

neuronal utiliza el movimiento de los hombros para controlar el brazo. Encogerse de hombros hace que la mano se cierre, mientras que moverlos hacia abajo provoca que se abra. El paciente también puede cerrar los dedos alrededor de un objeto como una taza, o manipular una llave entre los dedos pulgar e índice.

El doctor Miller concluye: «Esta conexión entre el cerebro y los músculos podría utilizarse algún día para ayudar a los pacientes con parálisis debida a lesiones de columna a realizar actividades de la vida cotidiana y a alcanzar una mayor independencia».

REVOLUCIONAR LAS PRÓTESIS

Buena parte de la financiación tras estos extraordinarios avances procede de un programa de la DARPA denominado Revolutionizing Prosthetics (Revolucionar las Prótesis), dotado con un presupuesto de ciento cincuenta millones de dólares, que financia proyectos como estos desde 2006. Uno de los impulsores de este programa es un coronel jubilado del ejército estadounidense, Geoffrey Ling, neurólogo con varios períodos de servicio en Irak y Afganistán. En esos países, le horrorizó la carnicería que las minas provocaban sobre el terreno. En guerras anteriores, muchos de estos valientes militares, hombres y mujeres, habrían muerto en el acto. Pero hoy en día, con los helicópteros y la amplia infraestructura médica de evacuación, muchos de ellos sobreviven, aunque sufran graves lesiones corporales. Más de mil trescientos militares, hombres y mujeres, han perdido algún miembro a su vuelta de Oriente Próximo.[6]

El doctor Ling se planteó si existía una manera científica de reemplazar esos miembros perdidos. Con la financiación del Pentágono, pidió al personal a su cargo que propusiesen soluciones concretas en cinco años. Cuando hizo esa petición, se topó con la incredulidad. Recuerda: «Creyeron que estábamos locos. Pero es esa locura la que hace que ocurran cosas».[7]

Espoleado por el entusiasmo ilimitado del doctor Ling, su equipo ha hecho milagros en el laboratorio. Por ejemplo, Revolutionizing Prosthetics financió a científicos del Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad de Johns Hopkins, quienes han creado el brazo mecánico más avanzado del mundo, capaz de reproducir casi todos los delicados movimientos de los dedos, la mano y el brazo en tres dimensiones. Es del mismo tamaño y posee igual fuerza y agilidad que un brazo real. Aunque está fabricado en acero, si se cubriese con un plástico del color de la piel sería casi indistinguible de un brazo real.

Este brazo se le implantó a Jan Sherman, tetrapléjica víctima de una enfermedad genética que había dañado la conexión entre su cerebro y su cuerpo, provocándole una parálisis completa del cuello hacia abajo. En la Universidad de Pittsburg, se le colocaron electrodos directamente sobre el cerebro, que se conectaron a través de un ordenador a un brazo mecánico. Cinco meses después de la

operación en la que le implantaron el brazo, la invitaron a *60 Minutes*.[8] Ante la teleaudiencia de todo el país, utilizó alegremente su nuevo brazo para saludar al público y para darle la mano al anfitrión. Incluso chocó puños con él para demostrar lo sofisticado que era su brazo.

El doctor Ling dice: «En mis sueños, seremos capaces de utilizar esta tecnología con todo tipo de pacientes: víctimas de derrames cerebrales o de parálisis cerebral, o ancianos».

LA TELEQUINESIS EN NUESTRAS VIDAS

No solo los científicos, sino también los emprendedores se interesan por la interfaz cerebro-máquina. Buscan incorporar muchos de estos asombrosos inventos como parte permanente de sus planes de negocio. La interfaz cerebro-máquina ya ha penetrado en el mercado juvenil, en forma de videojuegos y juguetes que utilizan sensores de electroencefalografía para permitir controlar objetos con la mente tanto en la realidad virtual como en el mundo real. En 2009, Neurosky puso a la venta el primer juguete, Mindflex, diseñado específicamente con sensores de electroencefalografía para mover una bola a través de un laberinto. Si nos concentramos cuando llevamos puesto el dispositivo de electroencefalografía de Mindflex, aumenta la velocidad del ventilador que impulsa una bolita por el laberinto.

También han aparecido videojuegos controlados con la mente. En Neurosky trabajan mil setecientos programadores, muchos de ellos en el casco Mindwave Mobile, en el que se ha invertido ciento veintinueve millones de dólares. Estos videojuegos utilizan un pequeño sensor de electroencefalografía portátil, que se ajusta a la frente y permite navegar por la realidad virtual, donde los movimientos de nuestro avatar se controlan con la mente. Manejando a nuestro avatar en la pantalla, podemos disparar armas, escapar de nuestros enemigos, pasar a nuevos niveles, ganar puntos… como si fuese un videojuego convencional, salvo porque todo lo hacemos sin manos.

«Se creará todo un ecosistema de nuevos actores, y Neurosky está bien situado para ser la Intel de esta nueva industria»,[9] afirma Álvaro Fernández, de SharpBrains, una empresa de investigación de mercado.

Aparte de ayudarnos a disparar armas virtuales, el casco de electroencefalografía también puede detectar cuando nuestra atención comienza a flaquear. Neurosky está recibiendo consultas de empresas preocupadas porque sus trabajadores sufren lesiones al perder la concentración mientras operan maquinaria peligrosa, o al quedarse dormidos al volante. Esta tecnología podría, pues, salvar vidas, al alertar al operario o al conductor de que está perdiendo la concentración haciendo sonar una alarma. (En Japón, este casco está de moda entre la gente fiestera. Los sensores de electroencefalografía del casco tienen forma de orejas de gato. Cuando quien lo porta está concentrado las orejas se yerguen, mientras que se vuelven flácidas cuando se distrae. En las fiestas,

una persona puede mostrar interés por otra solo con pensar y así esta podría saber si están intentando impresionarla o no.

Pero quizá las aplicaciones más novedosas de esta tecnología son las que explora el doctor Miguel Nicolelis, de la Universidad de Duke.[10] Cuando lo entrevisté, me dijo que cree que puede duplicar muchos de los aparatos que hasta ahora solo existían en la ciencia ficción.

MANOS INTELIGENTES Y FUSIONES MENTALES[11]

El doctor Nicolelis ha demostrado que esta interfaz cerebro-máquina puede implementarse entre distintos continentes. Para ello, coloca a un mono sobre una cinta de ejercicio. Al mono se le ha implantado un chip en el cerebro, que está conectado a internet. En el otro extremo del planeta, en Kioto (Japón), las señales procedentes del cerebro del mono se utilizan para controlar un robot capaz de caminar. Al andar sobre la cinta en Carolina del Norte, el mono controla al robot en Japón, que ejecuta los mismos movimientos. Utilizando únicamente sus sensores cerebrales, y algo de pienso como recompensa, el doctor Nicolelis ha entrenado a estos monos para que controlen a un robot humanoide llamado CB-1 que se encuentra al otro lado del mundo.

Nicolelis está estudiando también uno de los principales problemas de la interfaz cerebro-máquina: la falta de sensaciones. Actualmente, las prótesis de manos no poseen sentido del tacto, y por eso se sienten ajenas. Como no hay retroalimentación, pueden aplastar accidentalmente los dedos de alguien a quien le están dando la mano. Agarrar un huevo con un brazo mecánico es casi imposible.

Nicolelis espera resolver este problema estableciendo una interfaz directa entre cerebro y cerebro. Los mensajes se envían del cerebro a un brazo mecánico con sensores, que a su vez transmiten mensajes directamente de vuelta al cerebro, evitando por completo pasar por el miembro perdido. Esta interfaz cerebro-cerebro (BMBI, *Brain-Machine-Brain Interface*) podría permitir establecer un mecanismo de retroalimentación limpio y directo para hacer posible la sensación del tacto.

El doctor Nicolelis empieza conectando la corteza motora de los macacos Rhesus a brazos mecánicos. Estos tienen sensores, que envían señales de vuelta al cerebro mediante electrodos conectados a la corteza somatosensorial (que registra el sentido del tacto). Los monos reciben una recompensa tras cada ensayo exitoso, y tardaron entre cuatro y nueve intentos en aprender a usar el aparato.

Para hacerlo, el doctor Nicolelis tuvo que inventar un nuevo código para representar distintas superficies (que iban desde ásperas a suaves). «Después de un mes de entrenamiento —me dijo—, esta parte del cerebro aprende este nuevo código, y empieza a asociar el nuevo código artificial que hemos creado con las distintas texturas. Esta es la primera prueba de que podemos crear un canal sensorial» que permita simular las sensaciones de la piel.

Le comenté que esta idea me recordaba a la «holocubierta» de *Star Trek*, donde uno entra en un mundo virtual pero experimenta sensaciones cuando se topa con objetos virtuales, igual que si fuesen reales. Es lo que se llama «tecnología háptica», que utiliza la tecnología digital para simular el sentido del tacto. Nicolelis me respondió: «Sí, creo que es la primera demostración de que algo parecido a la holocubierta será posible en un futuro próximo».

La holocubierta del futuro podría utilizar una combinación de dos tecnologías. Primero, las personas que entrasen en ella llevarían lentillas conectadas a internet, que les permitirían ver un mundo virtual completamente nuevo mirasen donde mirasen. El panorama que mostrarían las lentillas cambiaría inmediatamente con tan solo pulsar un botón. Y si tocásemos algún objeto de ese mundo, se enviarían señales al cerebro que simularían la sensación del tacto, utilizando tecnología de interfaz cerebro-cerebro. De esta manera, los objetos del mundo virtual que veríamos a través de las lentillas parecerían sólidos.

La interfaz cerebro-cerebro también haría posible no solo la tecnología háptica, sino una «internet de la mente» o *brain-net*, con contacto directo cerebro a cerebro. En 2013, el doctor Nicolelis consiguió algo sacado directamente de *Star Trek*, una «fusión de mentes» entre dos cerebros. Empezó con dos grupos de ratas, uno en la Universidad de Duke y otro en Natal (Brasil). El primero aprendió a pulsar una palanca cuando veía una luz roja. El segundo aprendió a hacerlo cuando se le estimulaba el cerebro mediante una señal enviada a través de un implante. La recompensa por pulsar la palanca era un trago de agua. A continuación, el doctor Nicolelis conectó a internet, mediante un fino cable, las cortezas motoras del cerebro de ambos grupos.

Cuando el primer grupo de ratas vio la luz roja, se envió una señal al segundo grupo, en Brasil, a través de internet, que entonces pulsó la palanca. En siete de cada diez ensayos, el segundo grupo de ratas respondió correctamente a las señales enviadas por el primero. Esta fue la primera demostración de que las señales se podían transmitir correctamente, y también interpretar, entre dos cerebros.

Esto aún dista mucho de ser la fusión de mentes de la ciencia ficción, en la que dos mentes se funden en una, porque es todavía rudimentario y porque el tamaño de la muestra es pequeño, pero sí es una demostración de que, en principio, la *brain-net* es posible.[12]

En 2013 se produjo el siguiente avance importante, cuando un grupo de científicos fue más allá de los estudios con animales y llevó a cabo la primera comunicación directa entre cerebros humanos, en la que uno le envió al otro un mensaje a través de internet.

El acontecimiento tuvo lugar en la Universidad de Washington, donde un científico le envió a otro una señal cerebral («mueve tu brazo derecho»). El primero de ellos llevaba puesto un casco de electroencefalografía y estaba jugando a un videojuego, en el que disparó un cañón imaginando que movía su brazo derecho, sin moverlo físicamente.

La señal del casco de electroencefalografía fue enviada a través de internet a otro científico, que

llevaba puesto un casco magnético transcraneal colocado cuidadosamente encima de la zona del cerebro que controla el brazo derecho. Cuando la señal llegó al segundo científico, el casco le envió al cerebro un pulso magnético que provocó el movimiento involuntario del brazo derecho. Así, por control remoto, un cerebro humano pudo controlar el movimiento de otro.

Este avance abre numerosas posibilidades, como el intercambio de mensajes no verbales a través de internet. Quizá algún día podamos enviar la experiencia de bailar un tango, de hacer *puenting*, o de lanzarnos en paracaídas, a nuestros contactos de correo electrónico. La comunicación cerebro-cerebro permitiría no solo la transmisión de actividades físicas, sino también la de emociones y sentimientos.

Nicolelis imagina el día en que cerebros de todo el mundo participarán en una red social sin necesidad de teclados, sino directamente a través de sus mentes.

En lugar de dedicarse a enviar correos electrónicos, la gente en la *brain-net* podría intercambiar telepáticamente en tiempo real pensamientos, emociones e ideas. Actualmente, una llamada telefónica transmite únicamente información sobre la conversación y el tono de voz, nada más. La videoconferencia es algo mejor, porque también se puede leer el lenguaje corporal del interlocutor. Pero una *brain-net* haría posible la comunicación total, al permitir compartir la totalidad de la información mental en una conversación, incluyendo emociones, matices y reservas. Las mentes podrían compartir sus más íntimos pensamientos y sensaciones.

ENTRETENIMIENTO COMPLETAMENTE INMERSIVO

El desarrollo de una *brain-net* también afectaría a la multimillonaria industria del entretenimiento. En la década de 1920 se perfeccionó la tecnología de la grabación en cinta de sonido y luz. Esto desencadenó una transformación en la industria del entretenimiento, que pasó del cine mudo al sonoro. Durante buena parte del siglo XX esta combinación de imagen y sonido permaneció inalterada. Pero, en el futuro, la industria del entretenimiento podría experimentar una nueva transición, y grabar los cinco sentidos, incluidos el olfato, el gusto y el tacto, así como todo un abanico de emociones. Las sondas telepáticas serían capaces de manejar toda la gama de sentidos y emociones que circulan por el cerebro, para generar una inmersión completa del público en la historia. Cuando viésemos una película romántica o un *thriller* de acción, nadaríamos en un mar de sensaciones, como si estuviésemos realmente ahí, experimentando el torbellino de sentimientos y las emociones de los actores. Podríamos percibir el perfume de la heroína, el pánico de las víctimas de una película de terror o saborearíamos la victoria sobre los malos.

Esta inmersión implicaría un cambio radical en el proceso de producción de las películas. En primer lugar, los actores tendrían que aprender a actuar con sensores de

electroencefalografía/imágenes por resonancia magnética y nanosondas que registrarían sus sensaciones y emociones. (Lo que impondría una carga adicional sobre ellos, tendrían que interpretar cada escena simulando los cinco sentidos. De la misma manera en que algunos actores fueron incapaces de hacer la transición del cine mudo al sonoro, quizá surgiría una nueva generación de actores capaces de interpretar con los cinco sentidos.) La edición no se limitaría a cortar y pegar trozos de película, sino que también tendría que combinar grabaciones de las distintas sensaciones presentes en cada escena. Por último, el público recibiría todas estas señales eléctricas en el cerebro. En lugar de gafas de 3D, el público llevaría algún tipo de sensor cerebral. Los cines también tendrían que adaptarse para procesar estos datos y poder transmitírselos al público.

CREAR UNA *BRAIN-NET*

La creación de una *brain-net* capaz de transmitir ese tipo de información tendría que ser un proceso gradual. El primer paso consistiría en insertar nanosondas en áreas importantes del cerebro, como el lóbulo temporal izquierdo, que controla el habla, y el lóbulo occipital, que controla la visión. A continuación, los ordenadores analizarían estas señales y las descodificarían. Esta información se podría enviar a través de internet mediante cables de fibra óptica.

Más complicado sería insertar estas señales en el cerebro de otra persona, donde un receptor las procesaría. Hasta ahora, los progresos en este campo se han centrado únicamente en el hipocampo, pero en el futuro debería ser posible insertar mensajes directamente en las áreas del cerebro correspondientes a los sentidos del oído, de la vista, del tacto, del gusto y del olfato. Así pues, los científicos tienen mucho trabajo por delante para trazar un mapa de las cortezas cerebrales que intervienen en estos sentidos. Una vez que exista ese plano de las cortezas —como el hipocampo, del que hablaremos en el capítulo siguiente—, debería ser posible insertar palabras, pensamientos, recuerdos y experiencias en otro cerebro.

El doctor Nicolelis escribe: «No es inconcebible que nuestra progenie pueda reunir las habilidades, tecnología y ética necesarias para implantar una *brain-net*, el medio a través del cual miles de millones de seres humanos establecerían contactos consensuados, temporales y directos entre sí exclusivamente a través del pensamiento. Ni yo ni nadie puede actualmente imaginar el aspecto o el funcionamiento de tan colosal conciencia colectiva».

LA *BRAIN-NET* Y LA CIVILIZACIÓN

Una *brain-net* podría incluso alterar el curso de la civilización. Cada vez que aparece un nuevo

sistema de comunicación, acelera irremisiblemente los cambios sociales y nos impulsa de una era a la siguiente. En la época prehistórica, durante miles de años nuestros antepasados fueron nómadas, que se desplazaban en pequeñas tribus y se comunicaban entre sí a través del lenguaje corporal y los gruñidos. La aparición del lenguaje nos permitió, por vez primera, comunicar símbolos e ideas complejas, lo que facilitó el surgimiento de las ciudades. Durante los últimos milenios, el lenguaje escrito nos ha permitido acumular conocimiento y cultura de generación en generación, haciendo posible la aparición de la ciencia, las artes, la arquitectura y vastos imperios. La irrupción del teléfono, la radio y la televisión amplió el alcance de la comunicación a un ámbito intercontinental. Internet hace ahora posible el surgimiento de una civilización planetaria que conecta todos los continentes y a todos los pueblos del mundo. El siguiente paso de gigante sería el de una *brain-net* planetaria, en la que se intercambiaría a escala global todo el espectro de sentidos, emociones, recuerdos y pensamientos.

«FORMAREMOS PARTE DE SU SISTEMA OPERATIVO»

Cuando entrevisté al doctor Nicolelis, me contó que se interesó por la ciencia desde niño, mientras crecía en su Brasil natal. Recuerda haber visto la misión lunar del *Apollo*, que cautivó la atención del mundo entero. Para él fue una hazaña asombrosa. Y ahora, me dijo, su propia «misión lunar» es hacer posible que cualquier objeto se mueva con la mente.

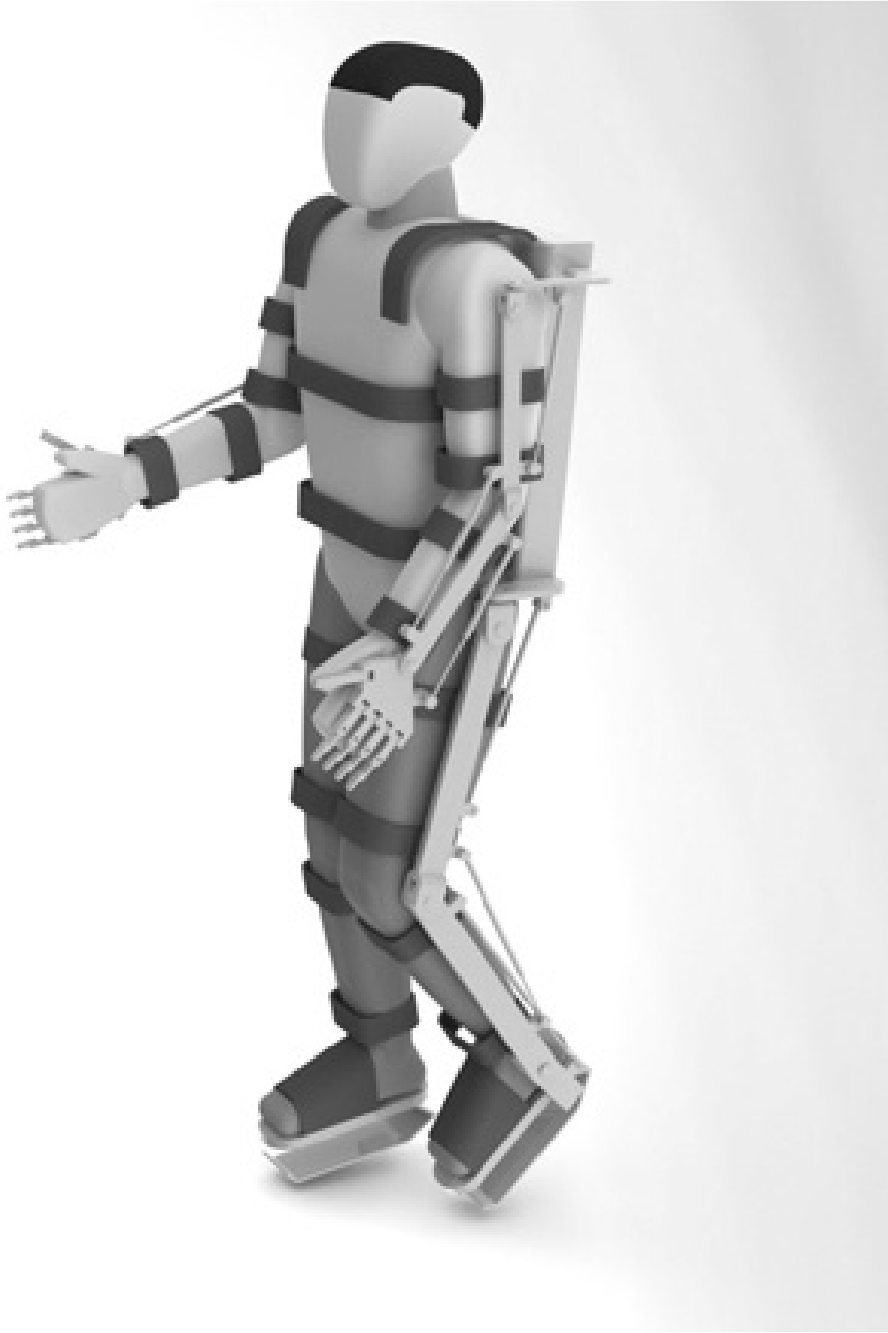
Su interés por el cerebro surgió mientras cursaba secundaria, cuando se topó con un libro de 1964 escrito por Isaac Asimov, titulado *El cerebro humano*. Pero cuando terminó de leerlo se sintió decepcionado. En el libro no se discutía cómo interactuaban entre sí todas estas estructuras para crear la mente (porque nadie conocía la respuesta por aquel entonces). Ese momento le cambió la vida, al darse cuenta de que su propio destino estaría vinculado a tratar de entender los secretos del cerebro.

Hace unos diez años, me dijo, empezó a pensar seriamente en perseguir su sueño de infancia.[13] Comenzó por hacer que un ratón controlase un dispositivo mecánico. «Le pusimos sensores para leer las señales cerebrales y las transmitimos a una pequeña palanca mecánica que podía hacer que llegase agua de vuelta al ratón. De esta manera, el animal tenía que aprender cómo mover mentalmente el dispositivo mecánico para obtener agua. Fue la primera demostración de que se podía conectar un animal a una máquina y de que este podría operarla sin mover su propio cuerpo», me explicó.

Hoy puede analizar no ya cincuenta sino mil neuronas del cerebro de un mono, capaces de reproducir varios movimientos en distintas partes del cuerpo del animal. Así, el mono puede controlar varios dispositivos, como brazos mecánicos o incluso imágenes virtuales en el ciberespacio. «Incluso tenemos un avatar que el mono puede controlar con sus pensamientos sin hacer ningún movimiento», me contó. Esto se consigue haciendo que el mono vea un vídeo en el que

aparece un avatar que representa su cuerpo. Entonces, al ordenarle mentalmente a su cuerpo que se mueva, hace que el avatar realice los movimientos correspondientes.

Nicolelis imagina que llegará un día, en un futuro próximo, cuando jugaremos a videojuegos y controlaremos ordenadores y otros aparatos con la mente. «Formaremos parte de su sistema operativo. Estaremos inmersos en ellos, con mecanismos muy similares a los experimentos que estoy describiendo.»



Laboratorio del doctor Miguel Nicolelis, Duke University

FIGURA 10. Este es el exoesqueleto que, según el doctor Nicolelis, una persona totalmente paralítica podrá controlar con la mente.

EXOESQUELETOS

La siguiente tarea para el doctor Nicolelis es el proyecto Walk Again (Volver a andar), cuyo objetivo es nada menos que desarrollar un exoesqueleto completo que cubra todo el cuerpo controlado con la mente. En un primer momento, un exoesqueleto nos hace pensar en las películas de *Iron Man*, pero en realidad se trata de un traje especial que recubre el cuerpo entero, para que brazos y piernas puedan moverse mediante motores. Él lo llama un «traje-robot» (véase figura 10).

Su objetivo, dice, es ayudar a quienes sufren una parálisis a «andar pensando». Tiene intención de utilizar tecnología inalámbrica, «para que no cuelgue nada de la cabeza […] Vamos a registrar las señales de entre veinte y treinta mil neuronas para controlar un traje robótico para que la persona pueda pensar y volver a caminar, y moverse y agarrar objetos».[14]

Nicolelis es consciente de que deberá superar toda una serie de obstáculos antes de que el exoesqueleto se haga realidad. Primero: debe crearse una nueva generación de microchips que puedan implantarse en el cerebro de manera segura y fiable durante años. Segundo: se deben fabricar los sensores inalámbricos para que el exoesqueleto pueda moverse libremente de un sitio a otro. Un ordenador del tamaño de un teléfono móvil, probablemente enganchado al cinturón, recibiría las señales inalámbricas del cerebro. Tercero: deben producirse nuevos avances en nuestra capacidad de descifrar e interpretar mediante ordenadores las señales cerebrales. En el caso de los macacos, se necesitaban unos pocos cientos de neuronas para controlar los brazos mecánicos. Para un humano serán necesarios, como mínimo, varios miles de neuronas para controlar un brazo o una pierna. Y cuarto: hay que encontrar una fuente de energía suficientemente potente y portátil para propulsar el exoesqueleto.

El objetivo de Nicolelis es ambicioso: disponer de un exoesqueleto que funcione para cuando se celebre la Copa del Mundo de Brasil en 2014, y que una persona tetrapléjica haga el saque de honor. Me dijo con orgullo: «Esta es la misión lunar brasileña».

AVATARES Y SUSTITUTOS

En la película *Los sustitutos*, Bruce Willis interpreta a un agente del FBI que investiga una serie de misteriosos asesinatos. Los científicos han creado unos exoesqueletos tan perfectos que superan las capacidades humanas. Estas criaturas mecánicas son extraordinariamente fuertes y tienen cuerpos perfectos. De hecho, son tan perfectos que la humanidad ahora depende de ellos. Las personas viven toda su vida en cápsulas, controlando mentalmente mediante tecnología inalámbrica a sus hermosos sustitutos. Por todas partes se ve a «personas» ocupadas trabajando, pero son todos sustitutos de cuerpos perfectos. Sus amos, que van envejeciendo, están convenientemente ocultos. Sin embargo, la trama tiene un giro repentino cuando el personaje interpretado por Bruce Willis descubre que la persona responsable de los asesinatos podría tener vínculos con el mismo científico que inventó los

sustitutos, lo que le lleva a preguntarse si estos son una bendición o una maldición.

Y en *Avatar*, un gran éxito de taquilla, en el año 2154 la Tierra ha agotado la mayoría de sus minerales, por lo que una empresa ha enviado una misión a una lejana luna llamada Pandora, en el sistema estelar de Alpha Centauri, en busca de un metal raro, el unobtainium. En esa luna lejana habita un pueblo nativo, los Na'vi, que vive en armonía con su exuberante entorno. Para poder comunicarse con ellos, unos trabajadores especialmente entrenados se introducen en cápsulas, donde aprenden a controlar con la mente el cuerpo de un nativo modificado genéticamente. Aunque la atmósfera es irrespirable y el medio ambiente difiere radicalmente del de la Tierra, los avatares no tienen dificultades para vivir en ese mundo extraño. Sin embargo, esta incómoda relación pronto se desmorona, cuando la empresa minera encuentra un rico depósito de unobtainium bajo el árbol ceremonial sagrado de los Na'vi. Inevitablemente, estalla el conflicto entre la compañía minera, que quiere destruir el árbol sagrado para extraer el metal, y los nativos, que lo adoran. Parece que la de los nativos es una causa perdida, hasta que uno de los trabajadores especializados cambia de bando y lidera a los Na'vi a la victoria.

Avatares y sustitutos son a día de hoy material para la ciencia ficción, pero algún día podrían convertirse en una herramienta fundamental para la ciencia. El cuerpo humano es frágil, quizá demasiado delicado para soportar los rigores de muchas misiones peligrosas, incluidos los viajes espaciales. Aunque en la ciencia ficción abundan las heroicas hazañas de valientes astronautas que viajan a los confines de nuestra galaxia, la realidad es muy diferente. La radiación en el espacio profundo es tan intensa que nuestros astronautas tendrían que estar protegidos o se enfrentarían a un envejecimiento prematuro, al síndrome de irradiación aguda, e incluso al cáncer. Las llamaradas solares pueden sumergir una nave espacial en radiación letal. Un mero vuelo transatlántico entre Estados Unidos y Europa nos expone a un milirem por hora de radiación, aproximadamente la misma que una radiografía dental. Pero en el espacio exterior la radiación podría ser muchas veces más intensa, especialmente en presencia de rayos cósmicos y llamaradas solares. (La NASA ha advertido a los astronautas de la Estación Espacial Internacional de que, durante las intensas tormentas solares, deben trasladarse a las secciones con mayor protección contra la radiación.)

Además, en el espacio exterior nos aguardan muchos otros peligros, como los micrometeoritos, la ingravidez prolongada y la necesidad de adaptarnos a distintos campos gravitatorios. Después de pasar unos pocos meses en ingravidez, el cuerpo pierde una importante proporción de calcio y otros minerales, lo que provoca en los astronautas una extrema debilidad, incluso aunque hagan ejercicio a diario. Tras pasar un año en el espacio exterior, los astronautas rusos tuvieron que arrastrarse como gusanos para salir de sus cápsulas espaciales. Asimismo, se cree que algunos de estos efectos de pérdida de masa ósea y muscular son permanentes, por lo que un astronauta sentirá los efectos de una ingravidez prolongada durante el resto de su vida.

El peligro de los micrometeoritos y de la intensidad de la radiación en la Luna es tan importante

que muchos científicos proponen que la estación espacial lunar permanente se instale en una cueva subterránea para proteger a nuestros astronautas. Estas cuevas se crean de manera natural cuando la lava se enfría formando tubos junto a los volcanes extintos. Pero la base lunar sería aún más segura si los astronautas disfrutasen de la comodidad de sus propias casas. De esta manera, estarían a salvo de todos los peligros que se encontrarían en la Luna, y podrían realizar las mismas tareas mediante sustitutos. Esto reduciría en gran medida el coste de las misiones espaciales tripuladas, ya que proporcionar soporte vital a los astronautas resulta muy oneroso.

Quizá cuando la primera nave interplanetaria llegue a un lejano planeta, y su sustituto pise tierra alienígena, un astronauta pueda decir: «Un pequeño paso para la mente…».

Un posible problema de esta estrategia es que los mensajes tardan un tiempo en llegar a la Luna y más allá. En poco más de un segundo, un mensaje de radio puede viajar de la Tierra a la Luna, por lo que sería fácil controlar a los sustitutos desde aquí. Más difícil sería comunicarse con los sustitutos en Marte, ya que las señales de radio tardan al menos veinte minutos en llegar al planeta rojo.

Pero los sustitutos tienen aplicaciones prácticas más cerca de casa. En Japón, el accidente en el reactor nuclear de Fukushima, en 2011, causó pérdidas por valor de miles de millones de dólares. Como los trabajadores no pueden entrar más que durante unos pocos minutos en áreas con niveles letales de radiación, la operación de limpieza puede durar cuarenta años. Por desgracia, los robots no están lo suficientemente desarrollados para entrar en esos abrasadores campos de radiación y efectuar las reparaciones necesarias. De hecho, los únicos robots que se han utilizado en Fukushima son bastante primitivos, básicamente ordenadores con ruedas y con cámaras sencillas. Aún tendrán que pasar muchas décadas hasta que veamos un autómata capaz de pensar por sí mismo (o controlado por un operario remoto) que pueda realizar reparaciones en un ambiente de elevada radiación.

La falta de robots industriales supuso un grave problema para los soviéticos durante el accidente de Chernóbil, que tuvo lugar en Ucrania en 1986. Los trabajadores a los que se envió directamente al lugar del accidente a apagar las llamas sufrieron muertes horribles debido a una exposición letal a la radiación. Mijaíl Gorbachov acabó ordenando a la fuerza aérea soviética que «sepultase» el reactor, lanzando sobre él cinco mil toneladas de arena con boro y cemento desde helicópteros. Los niveles de radiación eran tan elevados que hubo que reclutar a 250.000 trabajadores para detener definitivamente el accidente. Muchos solo podían pasar unos pocos minutos en el interior del reactor efectuando reparaciones. Todos estuvieron expuestos a la máxima dosis de radiación permitida a lo largo de la vida. Cada uno recibió su medalla. Este descomunal proyecto fue la mayor obra de ingeniería civil jamás realizada. Los robots actuales no podrían haberlo hecho.

La empresa Honda ha fabricado un robot[15] que podría, más adelante, trabajar en entornos de radiactividad letal, pero aún no está listo para hacerlo. Los científicos de Honda han colocado un sensor de electroencefalografía en la cabeza de un operario, y lo han conectado a un ordenador que analiza sus ondas cerebrales. El ordenador se conecta a continuación a una radio que le envía

mensajes al robot ASIMO (*Advanced Step in Innovative Mobility*, Un Paso Adelante en Movilidad Innovadora). Así, alterando sus ondas cerebrales, un operario puede controlar a ASIMO con el pensamiento.

Desgraciadamente, en la actualidad este robot es incapaz de efectuar las reparaciones necesarias en Fukushima porque solo puede realizar cuatro gestos básicos (en los cuales intervienen su cabeza y sus hombros), mientras que para reparar una central nuclear destrozada se necesitan cientos de movimientos. Este sistema no está suficientemente desarrollado para realizar tareas sencillas, como usar un destornillador o un martillo.

Otros grupos también han explorado la posibilidad de controlar robots con la mente. En la Universidad de Washington, el doctor Rajesh Rao ha creado un robot parecido, controlado por una persona con un casco de electroencefalografía. Este reluciente robot humanoide mide treinta centímetros de alto y se llama Morpheus (por el personaje de la película *Matrix* y por el dios griego de los sueños). Un alumno se pone un casco de electroencefalografía y hace ciertos gestos, como mover una mano, lo que genera una señal que se registra en un electroencefalograma. Se repite el proceso hasta que el ordenador tenga una biblioteca de señales electroencefalográficas, cada una las cuales se corresponde con un determinado movimiento de un miembro. Entonces se programa el robot para que mueva la mano cada vez que se le envía esa señal que ha sido previamente registrada. Así, cuando pensamos en mover la mano, el robot Morpheus también mueve la suya. La primera vez que alguien se pone el casco, el ordenador tarda alrededor de diez minutos en calibrar las señales cerebrales. Con el tiempo, será más fácil adaptarse a hacer gestos mentalmente para controlar el robot.[16] Por ejemplo, podremos hacer que venga hacia nosotros, coja un bloque de una mesa, camine hasta otra mesa y coloque el bloque en esta.

La investigación también avanza rápido en Europa. En 2012, los científicos en la École Polytechnique Fédérale de Lausana, en Suiza, desvelaron su último logro, un robot manejado telepáticamente mediante sensores de electroencefalografía cuyo controlador se encuentra a cien kilómetros de distancia. El robot en sí se parece a la aspiradora robótica Roomba, que puede verse en muchos hogares hoy en día. Pero en realidad se trata de un robot muy sofisticado, equipado con una cámara y capaz de orientarse a través de una oficina llena de obstáculos. Un paciente paralítico puede, por ejemplo, mirar una pantalla de ordenador, que está conectada a una videocámara en el robot, a muchos kilómetros de distancia, y ver a través de los ojos del robot. Además, solo con pensar, el paciente puede controlar el movimiento del robot y evitar obstáculos.[17]

Cabe imaginar que en el futuro serán robots, controlados de esta manera por humanos, los que realicen los trabajos más peligrosos. El doctor Nicolelis dice: «Probablemente podremos controlar remotamente a nuestros emisarios y embajadores, robots y aeronaves de muchas formas y tamaños, a los que enviaremos en nuestro lugar a explorar otros planetas en los confines del universo…».[18]

Por ejemplo, en 2010 el mundo vio con horror cómo se vertían cinco millones de barriles de

crudo en el golfo de México. El vertido de la plataforma petrolífera *Deepwater Horizon* fue uno de los mayores desastres petrolíferos de la historia, a pesar de lo cual los ingenieros fueron prácticamente incapaces de hacer nada para remediarlo durante tres meses. Durante semanas, los submarinos robóticos, controlados remotamente, trataron sin éxito de taponar la fuente del vertido, porque carecían de la destreza y la versatilidad necesarias para esta misión submarina. Si hubiesen estado disponibles los sustitutos submarinos, mucho más sensibles a la hora de manipular herramientas, habrían podido tapar la fuente del vertido en pocos días, evitando daños y pleitos por valor de miles de millones de dólares.

Otra posibilidad es que los sustitutos submarinos puedan algún día penetrar en nuestro propio cuerpo y realizar delicadas tareas de cirugía desde el interior. Esta era la idea que exploró la película *Viaje alucinante*, protagonizada por Raquel Welch, en la que se encogía un submarino hasta hacerlo del tamaño de un glóbulo rojo y se introducía en el torrente sanguíneo de alguien que había sufrido una trombosis cerebral. Encoger átomos es algo que viola las leyes de la física cuántica, pero algún día se podrán inyectar en nuestra sangre sistemas micro-electro mecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés: *Micro-Electrical Mechanical Systems*) del tamaño de una célula. Los sistemas micro-electro mecánicos son aparatos extraordinariamente pequeños (caben holgadamente en la punta de un alfiler) que utilizan la misma tecnología de grabado que se emplea en Silicon Valley, la cual permite imprimir cientos de millones de transistores en una oblea del tamaño de una uña. Una máquina sofisticada, con engranajes, palancas, poleas e incluso motores, puede ocupar menos que el punto que cierra esta frase. Algún día, un cirujano podrá ponerse un casco de telepatía y controlar con él, mediante conexión inalámbrica, un submarino con sistemas micro-electro mecánicos para realizar una operación quirúrgica desde el interior.

De manera que la tecnología de sistemas micro-electro mecánicos podría abrir todo un nuevo campo para la medicina, basado en la introducción de máquinas microscópicas en el cuerpo. Estos submarinos con sistemas micro-electro mecánicos podrían incluir servir como guía para las nanosondas en su entrada al cerebro, para que estas puedan conectar precisamente con las neuronas en cuestión. Así, las nanosondas podrían recibir y transmitir señales desde el conjunto de neuronas que interviene en determinados comportamientos. Esto supondrá el fin del método de ensayo y error para la implantación de electrodos en el cerebro.

EL FUTURO

A corto plazo, todos estos importantes avances que se están produciendo en laboratorios de todo el mundo podrían aliviar el sufrimiento de las personas que padecen parálisis y otras discapacidades. Mediante el poder de la mente, podrán comunicarse con sus seres queridos, controlar su cama y su

silla de ruedas, caminar controlando mentalmente miembros mecánicos, manejar electrodomésticos y llevar una vida mucho más normal.

Pero a largo plazo, estos avances podrían tener profundas consecuencias, tanto económicas como prácticas, para el mundo. A mediados de este siglo podría ser normal interactuar con los ordenadores directamente a través de la mente. Puesto que el sector de la informática mueve billones de dólares, capaz de crear jóvenes multimillonarios y grandes empresas casi de la noche a la mañana, los avances en la interfaz mente-ordenador se dejarán sentir en Wall Street, y también en nuestros hogares.

Todos los dispositivos que utilizamos para comunicarnos con los ordenadores (el ratón, el teclado, los ordenadores portátiles y los *notebooks*) irán desapareciendo lentamente. En el futuro bastará con que demos órdenes mentales y los pequeños chips que estarán discretamente ocultos a nuestro alrededor satisfarán nuestros deseos. Mientras estemos en la oficina, cuando paseemos por el parque, veamos escaparates, o simplemente mientras nos relajemos, nuestras mentes interactuarán con multitud de chips ocultos, y podremos así, mentalmente, poner en orden nuestras finanzas, comprar entradas para el teatro o hacer una reserva.

Los artistas también le darán buen uso a esta tecnología. Si pueden visualizar mentalmente sus obras, mediante sensores de electroencefalografía esa representación podría mostrarse en una pantalla holográfica tridimensional. Puesto que la imagen mental no es tan precisa como el objeto original, el artista podrá entonces mejorar la imagen tridimensional e imaginar la siguiente iteración. Tras varios ciclos, el artista podría imprimir la imagen definitiva con una impresora 3D.

Análogamente, los ingenieros podrían crear modelos a escala de puentes, túneles y aeropuertos simplemente usando su imaginación. Con el pensamiento, también podrían hacer cambios rápidamente en los planos. Las piezas de maquinaria irían directamente de la pantalla del ordenador a la impresora 3D.

Sin embargo, algunos críticos afirman que estos poderes telequinéticos adolecen de una gran limitación: la falta de energía. En las películas, los superseres (superhéroes y supervillanos) poseen la capacidad de mover montañas con el pensamiento. En la película *X-Men: La decisión final*, el supervillano Magneto mueve el puente Golden Gate simplemente con señalarlo con los dedos, pero el cuerpo humano solo puede proporcionar de media unos 150 vatios de potencia, muchísimo menos de la necesaria para hacer las cosas que se ven en los cómics. Por tanto, todas las hercúleas proezas de los superseres telequinéticos parecen pura fantasía.

Pero existe una solución para este problema energético. Podríamos conectar nuestros pensamientos a una fuente de energía, que multiplicaría por varios millones nuestra potencia. Así, podríamos aproximarnos al poder de un dios. En un episodio de *Star Trek*, la nave *Enterprise* viaja a un lejano planeta donde habita una criatura de apariencia divina que afirma ser Apolo, el dios griego del Sol. La tripulación se queda asombrada ante su capacidad para hacer magia. Incluso afirma haber

visitado la Tierra hace miles de años, donde los terrícolas lo adoraron. Pero la tripulación, que no cree en los dioses, sospecha que es un fraude. Y acaba descubriendo que este «dios» simplemente controla mentalmente una fuente de energía oculta, con la que realiza todos los trucos de magia. Cuando la destruyen, pasa a ser un simple mortal.

De manera similar, en el futuro nuestras mentes podrían controlar una fuente de energía, que nos daría superpoderes. Por ejemplo, un trabajador de la construcción podría manipular telepáticamente una fuente de energía y alimentar con ella maquinaria pesada. De esta manera, un solo albañil podría construir casas y enormes edificios usando simplemente el poder de su mente. Todo el trabajo pesado lo haría la fuente de energía, y el trabajador sería como un director de orquesta que coordinaría mentalmente el movimiento de grúas colosales y potentes apisonadoras.

La ciencia se empieza a aproximar a la ciencia ficción en otro sentido. Se supone que la saga de *Star Wars* tiene lugar en una época en que las civilizaciones se extienden por toda la galaxia. Los caballeros Jedi, una orden de guerreros muy entrenados que utilizan el poder de la «Fuerza» para leer las mentes y controlar sus espadas láser, son quienes mantienen la paz en la galaxia.

Pero no necesitamos esperar a haber colonizado toda la galaxia para empezar a pensar en la Fuerza. Como hemos visto, algunas características de la Fuerza son factibles hoy en día, como la capacidad de conectarse a los pensamientos de otra persona utilizando electrodos de electrocorticografía o cascos de electroencefalografía. Pero también será posible poseer los poderes telequinéticos de los caballeros Jedi cuando aprendamos a controlar mentalmente una fuente de energía. Los caballeros Jedi, por ejemplo, pueden atraer una espada láser tan solo con mover la mano, nosotros podemos hacerlo también gracias al poder del magnetismo (que puede arrastrar un martillo a través de una habitación con el imán que se utiliza en un aparato de imagen por resonancia magnética). Si pudiésemos activar mentalmente la fuente de energía, la tecnología actual nos permitiría atraer espadas láser de un lado a otro de la habitación.

EL PODER DE UN DIOS

La telequinesis es un poder reservado normalmente a los dioses o a los superhéroes. Del universo de superhéroes que aparecen en las películas comerciales de Hollywood, puede que el personaje más poderoso sea Fénix, una mujer telequinética que puede mover cualquier objeto que desee. Como miembro de los X-Men, puede levantar maquinaria pesada, detener una inundación o elevar un avión en el aire con el poder de su mente. (Sin embargo, acaba finalmente consumida por el lado oscuro de su poder y provoca una devastación a escala cósmica, capaz de incinerar sistemas solares enteros y de destruir estrellas. Su poder es tal, y tan incontrolable, que acaba abocándola a su propia autodestrucción.)

Pero ¿hasta dónde puede llegar la ciencia en su intento por controlar los poderes telequinéticos?

En el futuro, incluso con una fuente de energía externa que amplifique nuestros pensamientos, es poco probable que las personas con poderes telequinéticos puedan mover a su antojo objetos tan simples como un lápiz o una taza de café. Como hemos mencionado, solo existen cuatro fuerzas conocidas que rigen el universo y ninguna de ellas puede mover objetos sin una fuente de energía externa. (El magnetismo se aproxima, pero solo puede mover objetos con propiedades magnéticas; los que están hechos de plástico, el agua o la madera pueden atravesar un campo magnético sin problemas.) La mera levitación, un truco que forma parte del espectáculo de la mayoría de los magos, escapa a nuestra capacidad científica.

De manera que, incluso con una fuente de energía externa, es poco probable que una persona telequinética pudiese mover a voluntad los objetos que la rodean. Aunque hay una tecnología que está cerca de lograrlo: se trata de la capacidad de transformar un objeto en otro.

Esta tecnología se conoce como «materia programable» y es objeto de intenso estudio en Intel Corporation. La idea que subyace a la materia programable es la de crear objetos compuestos de pequeños «cátomos», que son chips de ordenador microscópicos. Cada cátomo se controla mediante conexión inalámbrica, y se puede programar para que varíe la carga eléctrica en su superficie y enlace con otros átomos de distintas maneras. Si se programan las cargas eléctricas de un modo determinado, los cátomos se unen para formar, pongamos por caso, un teléfono móvil. Entonces, se pulsa un botón para cambiar su programación y los cátomos se reordenan para componer otro objeto, como un ordenador portátil.

Presencié una demostración de esta tecnología en la Universidad de Carnegie Mellon, en Pittsburg, donde los científicos habían logrado crear un chip del tamaño de la punta de un alfiler.[19] Para examinar esos cátomos tuve que entrar en una «sala blanca» y ponerme un uniforme blanco especial, botas de plástico y una gorra para evitar que entrase la mínima partícula de polvo. Después, bajo el microscopio, pude ver la intrincada red de circuitos, en el interior de cada cátomo, que posibilita que se puedan programar mediante una conexión inalámbrica para hacer que cambie la carga eléctrica sobre su superficie. Igual que ahora programamos software, en el futuro podríamos programar hardware.

El siguiente paso es ver si estos cátomos se pueden combinar para formar objetos útiles, y también si es posible recombinarlos en objetos distintos cuando lo deseemos. Podríamos tener que esperar hasta mediados de siglo para ver prototipos funcionales de materia programable. Debido a la complejidad inherente a programar miles de millones de cátomos, habría que crear un ordenador especial para orquestar la carga de cada cátomo. Quizá a finales de este siglo se pueda controlar mentalmente un ordenador de ese tipo, y así provocar la transformación de un objeto en otro. No tendríamos que memorizar las cargas y la configuración de un objeto, sino que bastaría con que le diésemos la orden mental al ordenador para que se pasase de un objeto a otro.

Puede que llegue un momento en que tengamos catálogos con todos los objetos programables, como muebles, electrodomésticos y dispositivos electrónicos. Entonces, comunicándonos telepáticamente con el ordenador, debería ser posible transformar un objeto en otro. Redecorar el salón, remodelar la cocina o comprar los regalos de Navidad, todo se podría hacer mentalmente.

UNA HISTORIA MORAL

Que se cumplan todos nuestros deseos es algo propio de una divinidad. Pero este poder celestial tiene sus inconvenientes. Todas las tecnologías pueden usarse para hacer el bien y para hacer el mal. En última instancia, la ciencia es un arma de doble filo. Uno de ellos puede cortar la pobreza, las enfermedades y la ignorancia, pero el otro puede resultar peligroso para las personas, de varias maneras.

Cabe imaginar que estas tecnologías hiciesen que las guerras fuesen aún más sangrientas. Puede que algún día todos los combates mano a mano sean entre sustitutos, dotados de toda una batería de armas de alta tecnología. Los verdaderos soldados, a salvo a miles de kilómetros de distancia, podrían dar rienda suelta a sus armas de última generación sin preocuparse por los daños colaterales que sufren los civiles. Aunque las guerras por medio de sustitutos preservarían las vidas de los propios soldados, también causarían espantosos daños en los civiles y en la infraestructura urbana.

El mayor problema es que este poder podría ser demasiado grande para que un simple mortal fuese capaz de controlarlo. En la novela *Carrie*, Stephen King se adentró en el mundo de una joven que era víctima de las mofas continuas de sus compañeros. La gente la marginaba, y su vida se había convertido en una sucesión interminable de insultos y humillaciones. Pero quienes la atormentaban no sabían una cosa: Carrie era telequinética.

Después de soportar las burlas y de que le manchasen de sangre el vestido del baile de graduación, finalmente estalló. Hizo acopio de todo su poder telequinético para encerrar a sus compañeros de clase y los fue eliminando uno por uno. En un gesto final, decidió quemar la escuela, pero su poder escapaba a su control, y acabó muriendo en el fuego que ella misma había provocado.

No es solo que el asombroso poder de la telequinesia pueda tener inconvenientes; además hay otro problema. Incluso aunque hubiésemos tomado todas las precauciones para comprenderlo y controlarlo, aún podría destruirnos si, irónicamente, fuese demasiado obediente a nuestros pensamientos y órdenes. Entonces, nuestros propios pensamientos podrían ser nuestra perdición.

La película *Planeta prohibido* (1956) está basada en una obra de William Shakespeare, *La tempestad*, que comienza con un hechicero y su hija perdidos en una isla desierta. En *Planeta prohibido* un profesor y su hija están perdidos en un lejano planeta donde antaño vivieron los Krell, una civilización que estaba millones de años más avanzada que la nuestra. Su mayor logro fue haber

creado un aparato que proporcionaba un poder de telequinesis absoluto, la capacidad de controlar mentalmente la materia en todas sus formas. Cualquier cosa que deseasen se materializaba de pronto ante ellos. La máquina les permitía adaptar la propia realidad a sus caprichos. Y aun así, en la víspera de su mayor triunfo, al poner en funcionamiento ese aparato, los Krell desaparecieron sin dejar rastro. ¿Qué fue lo que pudo haber destruido esta avanzadísima civilización?

Cuando un grupo de terrícolas llega al planeta a rescatar al hombre y a su hija, se topan con un espantoso monstruo que recorre el lugar matando brutalmente a los miembros de la tripulación. Finalmente, uno de ellos descubre el sorprendente secreto que está detrás de la desaparición de los Krell y la presencia del monstruo. Antes de morir, susurra: «Monstruos del ego».

Es entonces cuando el profesor comprende lo que ha sucedido. Después de encender la máquina de telequinesis, al llegar la noche, los Krell se quedaron dormidos, y todos los deseos reprimidos del ello se materializaron de repente. Enterrados en el subconsciente de estas criaturas tan evolucionadas aún persistían los impulsos y deseos animales que llevaban tanto tiempo reprimiendo. Todas las fantasías, todos los sueños de venganza, de pronto se hicieron realidad, y esta gran civilización se destruyó a sí misma de la noche a la mañana. Habían conquistado muchos mundos, pero había una cosa que no podían controlar: su propio subconsciente.

Esta es una lección para todo aquel que desee dar rienda suelta al poder de la mente. En su interior se encuentran los más nobles logros y pensamientos de la humanidad, pero también los monstruos del ello.

CAMBIAR QUIÉNES SOMOS: RECUERDOS E INTELIGENCIA

Hasta ahora hemos hablado sobre el poder de la ciencia para ampliar nuestras capacidades mentales a través de la telepatía y la telequinesis. Seguimos siendo prácticamente los mismos, estos desarrollos no modifican nuestra esencia. Pero se está abriendo una nueva frontera que altera la propia naturaleza de lo que significa ser humano. Usando los últimos avances en genética, electromagnetismo y terapia farmacológica, en un futuro próximo quizá podamos alterar nuestros recuerdos e incluso mejorar nuestra inteligencia. La idea de descargar un recuerdo, de aprender habilidades complejas en unas horas y de volvernos superinteligentes está dejando lentamente de ser algo propio de la ciencia ficción.

Sin nuestros recuerdos estamos perdidos, a la deriva en un océano de estímulos sin sentido, incapaces de comprender el pasado o de entendernos a nosotros mismos. ¿Qué sucederá si algún día podemos introducir recuerdos artificiales en nuestro cerebro? ¿Qué ocurrirá cuando podamos dominar cualquier disciplina con tan solo descargar el fichero en nuestra memoria? ¿Qué pasará si no somos capaces de diferenciar entre los recuerdos reales y los falsos? ¿Quiénes seremos entonces?

Los científicos están dejando de ser observadores pasivos de la naturaleza para pasar a configurarla y moldearla activamente. Eso significa que podríamos llegar a ser capaces de manipular los recuerdos, los pensamientos, la inteligencia y la conciencia. En lugar de limitarnos a presenciar los intrincados mecanismos de la mente, en el futuro será posible dirigirlos.

Tratemos de dar respuesta a esta pregunta: ¿podemos descargarnos recuerdos?

5

Recuerdos y pensamientos por encargo

> Si nuestro cerebro fuese lo suficientemente sencillo para que pudiésemos comprenderlo, seríamos tan simples que no podríamos hacerlo.
>
> ANÓNIMO

Neo es El Elegido, el único que puede liderar a una humanidad vencida a la victoria contra las Máquinas, el único capaz de destruir la Matrix, que ha implantado recuerdos falsos en nuestro cerebro como medio para controlarnos.

En una escena ya clásica de la película *Matrix*, los malvados Centinelas, que protegen la Matrix, han conseguido acorralar a Neo. Parece que la última esperanza de la humanidad está a punto de ser liquidada. Pero, previamente, a Neo le han implantado un conector en la nuca que le permite descargar instantáneamente a su cerebro el conocimiento de las artes marciales. En segundos se convierte en un maestro del kárate, capaz de derrotar a los Centinelas con impresionantes patadas voladoras y precisos golpes.

En *Matrix*, aprender las asombrosas habilidades de un maestro cinturón negro en kárate es tan fácil como conectar un electrodo al cerebro y pulsar el botón de «descargar». Quizá algún día también nosotros podamos descargarnos recuerdos, lo que nos permitiría aumentar enormemente nuestras habilidades.

Pero ¿qué sucede cuando los recuerdos que nos descargamos son falsos? En la película *Desafío total*, a Arnold Schwarzenegger le implantan recuerdos falsos, lo que difumina por completo la frontera entre realidad y ficción. Combate valientemente contra los malos en Marte hasta el final de la película, cuando de pronto se da cuenta de que él es su líder. Se queda perplejo al descubrir que sus recuerdos de ser un ciudadano normal, respetuoso de la ley, son totalmente fabricados.

A Hollywood le gustan las películas que exploran el apasionante, aunque ficticio, mundo de los recuerdos artificiales. Evidentemente, todo esto es imposible con la tecnología actual, pero podemos imaginar el día, dentro de algunas décadas, en que será posible implantar recuerdos artificiales en

nuestro cerebro.

CÓMO RECORDAMOS

Como el de Phineas Gage, el extraño caso de Henry Gustav Molaison, conocido en la bibliografía científica simplemente como H.M., tuvo un impacto tal en el campo de la neurología que condujo a muchos avances fundamentales en la comprensión de la importancia del hipocampo en la creación de los recuerdos.

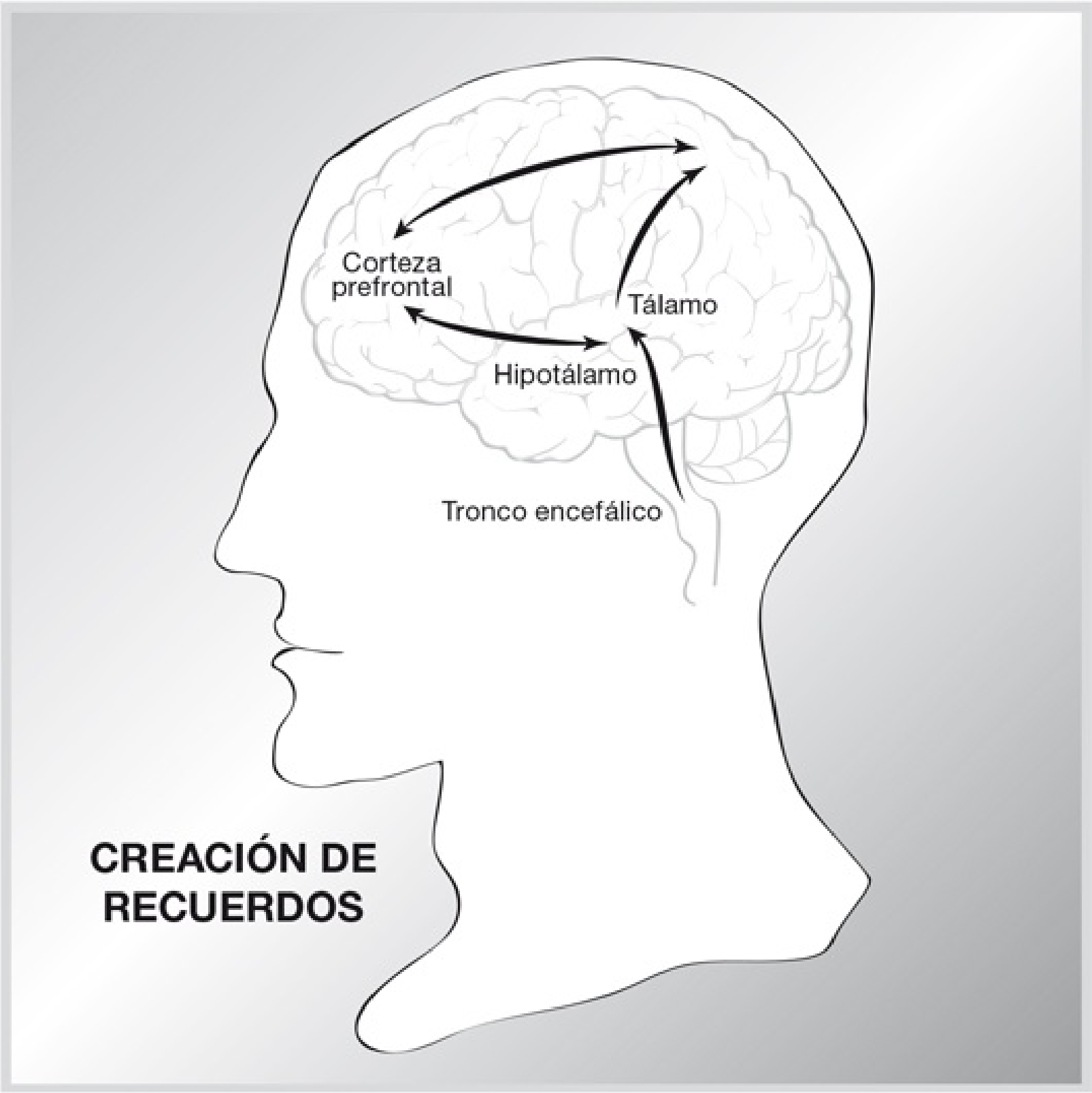
A la edad de nueve años, H.M. sufrió lesiones en la cabeza como consecuencia de un accidente que le provocó intensas convulsiones. En 1953, cuando tenía veinticinco años, se sometió a una operación que consiguió que desaparecieran los síntomas. Pero surgió otro problema, porque los cirujanos extirparon por error una parte de su hipocampo. En un principio, H.M. parecía normal, pero pronto se puso de manifiesto que algo iba terriblemente mal: no podía retener nuevos recuerdos. Vivía constantemente en el presente, y saludaba a las mismas personas varias veces al día con las mismas expresiones, como si las viese por primera vez. Todo lo que llegaba a su memoria permanecía en ella tan solo unos pocos minutos antes de desaparecer. Como Bill Murray en la película *Atrapado en el tiempo*, H.M. estaba condenado a revivir el mismo día, una y otra vez, durante el resto de su vida. Pero, a diferencia del personaje que interpreta Bill Murray, él no podía recordar las iteraciones previas. Su memoria a largo plazo, sin embargo, estaba relativamente intacta y podía recordar cómo era su vida antes de la operación. Pero, sin un hipocampo operativo, H.M. era incapaz de registrar nuevas experiencias. Por ejemplo, se horrorizaba al mirarse en el espejo, porque veía en él el rostro de un viejo, aunque pensaba que seguía teniendo veinticinco años. Pero, por suerte, el recuerdo del susto tardaba poco en desaparecer en la bruma. En cierto sentido, H.M. era como un animal con conciencia de nivel II, incapaz de recordar el pasado inmediato o simular el futuro. Sin un hipocampo operativo, retrocedió del nivel III de conciencia a una de nivel II.

Hoy en día, los sucesivos avances en neurociencia nos han permitido tener muy claro cómo se forman, se almacenan y se recuperan los recuerdos. «Todo ha convergido en los últimos años, debido a dos desarrollos técnicos: los ordenadores y los modernos escáneres cerebrales»,[1] dice el doctor Stephen Kosslyn, neurocientífico en Harvard.

Como sabemos, la información sensorial (es decir, de la vista, el tacto o el gusto) debe pasar primero por el tronco encefálico y después por el tálamo, que actúa como repetidor y dirige las señales a los distintos lóbulos sensoriales del cerebro, donde se evalúan. La información procesada llega a la corteza prefrontal, donde entra en la conciencia y forma lo que consideramos la memoria a corto plazo, que dura entre unos segundos y varios minutos (véase figura 11).

Para almacenar este recuerdo durante un período más prolongado, la información debe pasar por

el hipocampo, donde los recuerdos se clasifican en varias categorías. En lugar de almacenarlos todos en una sola área del cerebro, como una grabadora o un disco duro, el hipocampo redirige los fragmentos a las distintas cortezas. (Almacenarlos así es en realidad más eficiente que hacerlo de manera secuencial. Si los recuerdos humanos se guardasen secuencialmente, como en un cinta de ordenador, sería necesaria una capacidad de almacenamiento enorme. De hecho, en el futuro, los sistemas de almacenamiento digital podrían copiar este truco del cerebro, en lugar de guardar los datos de forma secuencial.) Por ejemplo, los recuerdos emocionales se conservan en la amígdala, pero las palabras se almacenan en el lóbulo temporal. Por su parte, los colores y otra información visual se recogen en el lóbulo occipital, y el sentido del tacto y el movimiento residen en el lóbulo parietal. Hasta ahora, los científicos han identificado más de veinte categorías de recuerdos que se preservan en distintas partes del cerebro, entre las que se encuentran las frutas y verduras, las plantas, los animales, las partes del cuerpo, los colores, los números, las letras, los sustantivos, los verbos, los nombres propios, los rostros, las expresiones faciales y diversas emociones y sonidos.[2]



© Jeffrey Ward

FIGURA 11. Recorrido que se sigue durante la creación de un recuerdo. Los impulsos procedentes de los sentidos pasan por el tronco encefálico, el tálamo y las distintas cortezas antes de llegar a la corteza prefrontal.

Un único recuerdo —por ejemplo, de un paseo por el parque— contiene información que se descompone y se almacena en distintas regiones del cerebro, pero revivir un solo aspecto del recuerdo (como el olor del césped recién cortado) puede hacer que el cerebro se lance en busca de los demás fragmentos para recrear una experiencia coherente. El objetivo final de las investigaciones

sobre la memoria es, pues, entender cómo se recomponen estos fragmentos dispersos cuando recordamos una experiencia. Es lo que se denomina «el problema de la integración», cuya solución podría explicar muchos aspectos desconcertantes de la memoria. Por ejemplo, el doctor António Damasio ha estudiado a víctimas de derrames cerebrales incapaces de identificar una sola de las categorías, aunque sí podían recordar todo lo demás.[3] Esto sucede porque el derrame solo ha afectado el área del cerebro donde dicha categoría se almacena.

El problema de la integración se complica aún más porque todos nuestros recuerdos y experiencias son muy personales. Los recuerdos pueden ser específicos de un individuo, por lo que las categorías de recuerdos de una persona no tienen por qué corresponderse con las de otra. Los sumilleres, por ejemplo, disponen de muchas categorías para calificar sutiles matices en el gusto, mientras que los físicos tienen otras categorías para determinadas ecuaciones. Las categorías son, a fin de cuentas, fruto de la experiencia y distintas personas pueden, por lo tanto, poseer diferentes categorías.

Una solución novedosa para el problema de la integración se sirve del hecho de que a lo largo y ancho del cerebro se producen vibraciones electromagnéticas con una frecuencia aproximada de cuarenta ciclos por segundo, que los escáneres de electroencefalografía son capaces de detectar. Un fragmento de un recuerdo podría vibrar con una frecuencia muy precisa y estimular otro fragmento de recuerdo almacenado en otra parte lejana del cerebro.[4] Antes se creía que los recuerdos se almacenaban próximos físicamente los unos de los otros, pero esta nueva teoría sostiene que los recuerdos no están conectados espacialmente, sino de manera temporal, al vibrar al unísono. Si esta teoría se confirma, eso significará que por todo el cerebro fluyen continuamente vibraciones electromagnéticas que conectan entre sí las distintas regiones y reconstruyen así los recuerdos enteros. Por lo tanto, el flujo constante de información entre el hipocampo, la corteza prefrontal, el tálamo y las diferentes cortezas podría en última instancia no ser enteramente neuronal. Parte de este flujo podría tomar la forma de una resonancia a través de distintas estructuras cerebrales.

GRABAR UN RECUERDO

Desgraciadamente, H.M. murió en 2008 a la edad de ochenta y dos años, antes de poder sacar provecho de los sorprendentes avances de la ciencia: la capacidad de crear un hipocampo artificial mediante el cual insertar recuerdos en el cerebro. Es algo sacado directamente de la ciencia ficción, pero los científicos de la Universidades de Wake Forest y de Southern California (USC) hicieron historia en 2011, cuando lograron registrar un recuerdo creado por ratones y grabarlo digitalmente en un ordenador. Era un demostración de principios, mediante la que probaron que el sueño de descargar recuerdos al cerebro algún día podría hacerse realidad.

En principio, la mera idea de descargar recuerdos al cerebro parece una quimera porque, como hemos visto, los recuerdos se crean mediante el procesamiento de numerosas experiencias sensoriales que después se almacenan en múltiples lugares de la neocorteza y el sistema límbico. Pero, como sabemos gracias a H.M., existe un lugar a través del cual fluyen todos los recuerdos y donde se convierten en recuerdos a largo plazo: el hipocampo. El doctor Theodore Berger, quien lidera el equipo de la Universidad de Southern California, opina: «Si no se puede hacer con el hipocampo, no se puede hacer en ningún sitio».[5]

Los científicos de Wake Forest y de la Universidad de Southern California partieron de la observación, obtenida mediante escáneres cerebrales, de que existen al menos dos conjuntos de neuronas en el hipocampo de un ratón, denominados CA1 y CA3, que se comunican entre sí cada vez que el ratón aprende una nueva tarea. Tras entrenar a los ratones para que pulsasen dos barras, una después de la otra, para obtener agua, los científicos revisaron los resultados y trataron de descodificar estos mensajes. Tras la frustración inicial, debida a que las señales de estos dos grupos de neuronas no parecían seguir ningún patrón, recopilaron datos de millones de señales hasta conseguir determinar la relación entre señales eléctricas de entrada y de salida. Introduciendo sondas en el hipocampo de los ratones, los científicos pudieron registrar las señales entre CA1 y CA3 cuando estos aprendían a pulsar las dos barras sucesivamente.

A continuación, les inyectaron a los ratones un compuesto químico especial que hacía que olvidasen la tarea. Por último, reproducían el recuerdo en el cerebro de esos mismos ratones. Sorprendentemente, los ratones recobraban el recuerdo de la tarea original y eran capaces de reproducirla satisfactoriamente. Básicamente, han creado un hipocampo artificial, capaz de replicar recuerdos digitales. «Encendemos el sistema y el animal tiene el recuerdo; lo apagamos y deja de tenerlo —dice el doctor Berger—. Es un paso muy importante, porque es la primera vez que hemos unido todas las piezas.»[6]

Para Joel Davis, de la Oficina del Jefe de Operaciones Navales, que patrocina el proyecto, «el uso de implantes para mejorar nuestras capacidades es solo cuestión de tiempo».[7]

No es de extrañar que, con tantos intereses en juego, la investigación en este campo avance muy rápido.[8] En 2013, se produjo un avance más, esta vez en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde los científicos fueron capaces de implantarle a un ratón no solo recuerdos verdaderos sino también falsos recuerdos. Esto significa que algún día se podrán implantar en el cerebro recuerdos de acontecimientos que nunca sucedieron, lo que tendrá importantes repercusiones en campos como la educación y el entretenimiento.

Los científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts utilizaron una técnica denominada optogenética (que veremos en el capítulo 8), que permite activar determinadas neuronas al hacer incidir luz sobre ellas. Con este potente método pueden identificar con precisión cuáles son las neuronas responsables de determinados recuerdos.

Por ejemplo, supongamos que un ratón entra en una sala y recibe una descarga. Analizando el hipocampo, es posible identificar las neuronas responsables del recuerdo de ese doloroso evento y registrar su actividad. A continuación, se introduce al ratón en una sala completamente distinta, donde no sufrirá ningún daño. Mediante una fuente de luz conectada a una fibra óptica, es posible activar el recuerdo de la descarga y hacer que el ratón muestre un comportamiento característico del miedo, a pesar de que en la segunda sala esté completamente a salvo de cualquier daño.

De esta manera, los científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts lograron no solo implantar recuerdos de eventos verdaderos, sino también de otros que nunca se produjeron. Algún día, esta técnica permitirá a los encargados de los cursos de formación implantar a los trabajadores recuerdos de nuevas habilidades, o quizá servirá para que Hollywood cree una forma completamente nueva de entretenimiento.

UN HIPOCAMPO ARTIFICIAL

En el momento actual el hipocampo artificial es rudimentario, capaz de registrar un solo recuerdo cada vez. Pero estos científicos tienen la intención de aumentar la complejidad del hipocampo artificial para que pueda almacenar múltiples recuerdos, procedentes de distintos animales, hasta llegar a los monos. También planean hacer que la tecnología sea inalámbrica, sustituyendo los cables con pequeños transmisores de radio, para que los recuerdos se puedan descargar en remoto sin necesidad de implantar aparatosos electrodos en el cerebro.

Puesto que en los humanos el hipocampo interviene en el procesamiento de los recuerdos, los científicos vaticinan un gran potencial para esta técnica en el tratamiento de derrames cerebrales, demencia, alzhéimer y muchos otros problemas que se producen cuando una región del cerebro resulta dañada o se deteriora.

Evidentemente, habrá que superar muchos obstáculos. A pesar de todo lo que hemos aprendido sobre el hipocampo desde H.M., aún es una caja negra, cuyos mecanismos internos en gran medida desconocemos. Como consecuencia, no es posible crear un recuerdo desde cero, pero sí se puede registrarlo y volver a reproducirlo una vez que se ha realizado la tarea y que el recuerdo se ha procesado.

DIRECCIONES FUTURAS

Trabajar con el hipocampo de los primates, e incluso de los humanos, será más difícil, ya que es mucho más grande y complejo. El primer paso es trazar un mapa neuronal detallado del hipocampo,

que implica colocar electrodos en distintas partes de este para registrar las señales que las diferentes regiones intercambian constantemente. Esto determinará el flujo de información que atraviesa continuamente el hipocampo, el cual posee cuatro partes fundamentales: CA1 a CA4, y los científicos registrarán las señales que se intercambian entre ellas.

El segundo paso implica que el animal realice determinadas tareas, tras las cuales los científicos registrarán los impulsos que fluyen a través de las distintas regiones del hipocampo, grabando así el recuerdo. Por ejemplo, el recuerdo de aprender cierta tarea, como saltar por un aro, generará actividad eléctrica en el hipocampo que se registrará y se analizará minuciosamente. Así se creará un diccionario que establezca correspondencias entre los recuerdos y los flujos de información a través del hipocampo.

Por último, en el tercer paso se crea un grabación del recuerdo y se introduce la señal eléctrica correspondiente en el hipocampo de otro animal mediante electrodos, para ver si ese recuerdo se ha transmitido. De esta manera, el animal puede aprender a saltar por un aro aunque nunca lo haya hecho. Si funciona, los científicos irán creando una biblioteca de registros de ciertos recuerdos.

Quizá se tarden varias décadas en llegar a los recuerdos humanos, pero podemos imaginar cómo funcionaría la técnica. En el futuro, se contrataría a gente para crear ciertos recuerdos, como unas vacaciones de lujo o una batalla ficticia. Se les colocarían nanoelectrodos en varios puntos del cerebro para grabar el recuerdo. Estos electrodos deberán ser extremadamente pequeños, para no interferir en la creación del recuerdo.

La información procedente de estos electrodos se enviará a continuación a un ordenador por medio de una conexión inalámbrica para que quede registrada. Más adelante, al sujeto que desee experimentar estos recuerdos se le colocarán unos electrodos similares en el hipocampo, y se le insertará el recuerdo en el cerebro.

(Esta idea no está exenta de dificultades, por supuesto. Si intentamos insertar el recuerdo de una actividad física, como un arte marcial, nos encontramos con el problema de la «memoria muscular». Por ejemplo, al andar, no pensamos conscientemente en poner un pie delante del otro. Caminar se ha convertido para nosotros en algo natural, porque lo hacemos muy a menudo y desde que éramos muy pequeños. Eso significa que el hipocampo ya no regula en exclusiva las señales que controlan nuestras piernas, sino que también intervienen la corteza motora, el cerebelo y los ganglios basales. En el futuro, si queremos insertar recuerdos relacionados con deportes, los científicos tendrán que descifrar de qué manera estos se almacenan parcialmente en otras áreas del cerebro.)

VISIÓN Y RECUERDOS HUMANOS

La creación de recuerdos es un proceso muy complejo, pero el enfoque que hemos estado

discutiendo utiliza el truco de interceptar las señales que atraviesan el hipocampo, una vez que los impulsos sensoriales ya se han procesado. Sin embargo, en *Matrix*, para cargar recuerdos directamente en el cerebro se conecta un electrodo en la nuca. Esto presupone que es posible descodificar los impulsos sin procesar, procedentes directamente de los ojos, los oídos, la piel, etcétera, que suben por la médula espinal y el tronco encefálico hasta llegar al tálamo. Esto es algo mucho más complejo y difícil que analizar los mensajes ya procesados que circulan por el hipocampo.

Para hacernos una idea del volumen de información sin procesar que sube por la médula espinal hasta el tálamo, centrémonos en un solo aspecto, la vista, ya que muchos de nuestros recuerdos se codifican así. En nuestra retina hay alrededor de ciento treinta millones de células, llamadas «conos» y «bastones», que procesan y registran cien millones de bits de información de nuestro entorno en cada momento.

Esta enorme cantidad de datos se recoge y se envía a través del nervio óptico, que trasporta nueve millones de bits de información por segundo, y llega al tálamo. Desde ahí la información alcanza el lóbulo occipital, en la parte posterior del cerebro. La corteza visual, a su vez, comienza el arduo proceso de analizar esta montaña de datos. Esta corteza está compuesta por varios retazos y se ubica en la parte posterior del cerebro, con nombres que van de V1 a V8, cada uno de los cuales está diseñado para realizar una tarea determinada.

Notablemente, la zona denominada V1 es como una pantalla: genera en la parte posterior del cerebro un patrón con una forma muy similar a la de la imagen original. El parecido con la imagen original es asombroso, salvo porque el centro del ojo, la fóvea, ocupa un área mucho mayor en V1 (ya que es en la fóvea donde la concentración de neuronas es más elevada). La imagen que se proyecta en V1 no es, por lo tanto, una réplica perfecta del panorama exterior, sino que está distorsionada, y la región central de la imagen ocupa la mayor parte del espacio.

Aparte de V1, otras zonas del lóbulo occipital procesan distintos aspectos de la imagen, entre los que se encuentran:

- La visión estereoscópica. Estas neuronas comparan las imágenes procedentes de cada ojo. Esto sucede en la zona V2.
- La distancia. Estas neuronas calculan la distancia a un objeto, utilizando las sombras y otra información procedente de ambos ojos. Se lleva a cabo en la zona V3.
- Los colores se procesan en la zona V4.
- El movimiento. Distintos circuitos pueden detectar diferentes clases de movimiento, como el rectilíneo, en espiral o la expansión. Esto se realiza en la zona V5.

Se han identificado más de treinta circuitos neuronales diferentes relacionados con la visión, pero

probablemente existan muchos más.

Desde el lóbulo occipital, la información se envía a la corteza prefrontal, donde por fin «vemos» la imagen y generamos el recuerdo a corto plazo. A continuación, la información se direcciona al hipocampo, que la procesa y la almacena durante un máximo de veinticuatro horas. El recuerdo entonces se despieza y se distribuye entre las distintas cortezas.

Lo importante es que la visión, que creemos que sucede sin ningún esfuerzo por nuestra parte, requiere que miles de millones de neuronas se activen sucesivamente y que transmitan millones de bits de información por segundo. Recordemos asimismo que recibimos señales de cinco órganos sensoriales, además de las emociones asociadas a cada imagen. Toda esta información se procesa en el hipocampo para generar un recuerdo sencillo de una imagen. Actualmente, ninguna máquina posee el grado de sofisticación de este proceso, lo que constituye un enorme reto para los científicos que tratan de crear un hipocampo artificial para el cerebro humano.

RECORDAR EL FUTURO

Si codificar el recuerdo de uno solo de los sentidos es un proceso tan complejo, ¿cómo desarrollamos la capacidad de almacenar tan enorme cantidad de información en nuestra memoria a largo plazo?[9] No parece que los animales, que se guían principalmente por el instinto, tengan mucha memoria a largo plazo. Pero como dice el neurobiólogo James McGaugh, de la Universidad de California en Irvine, «el propósito de la memoria es predecir el futuro»,[10] lo cual plantea una interesante posibilidad. Puede que la memoria a largo plazo se desarrollase porque era útil para simular el futuro. Dicho de otra manera, el hecho de que podamos recordar acontecimientos de un pasado lejano se debe a las exigencias y las ventajas de simular el futuro.

De hecho, los escáneres cerebrales obtenidos por los científicos de la Universidad de Washington en Saint Louis indican que las áreas del cerebro que se utilizan para recuperar los recuerdos son las mismas que intervienen en la simulación del futuro. En particular, el vínculo entre la corteza dorsolateral prefrontal y el hipocampo se activa tanto cuando una persona se dedica a planificar el futuro como cuando recuerda el pasado. En cierto sentido, el cerebro intenta «recordar el futuro» sirviéndose de recuerdos del pasado para determinar cómo evolucionará algo en el futuro. Esto podría explicar también el curioso hecho de que las personas que padecen amnesia —como H.M.— a menudo son incapaces de visualizar lo que harán en el futuro, incluso ni siquiera al día siguiente.

«Se puede ver como un viaje mental en el tiempo: la capacidad de partir de nuestros pensamientos sobre nosotros mismos y proyectarlos tanto hacia el pasado como hacia el futuro»,[11] dice la doctora Kathleen McDermott, de la Universidad de Washington, quien también señala que su estudio ofrece una «respuesta tentativa para una pregunta que llevamos tiempo haciéndonos sobre la utilidad

evolutiva de la memoria. Es posible que la razón por la que somos capaces de recordar el pasado de manera tan detallada y tan vívida sea la importancia de este conjunto de procesos para tener la capacidad de imaginarnos a nosotros mismos en escenarios futuros. La relevancia de esta capacidad de imaginar el futuro para nuestra adaptación al medio es clara y contundente».[12] Para un animal, el pasado es en gran medida un despilfarro de recursos, puesto que ofrece pocas ventajas evolutivas. Pero simular el futuro, a partir de las lecciones del pasado, es uno de los motivos fundamentales para el desarrollo de nuestra inteligencia.

UNA CORTEZA ARTIFICIAL

En 2012, los mismos científicos del Centro Médico Baptista de Wake Forest y de la Universidad de Southern California que crearon un hipocampo artificial en ratones anunciaron un experimento de alcance aún mayor. En lugar de registrar un recuerdo en el hipocampo de un ratón, replicaron el proceso mental, mucho más sofisticado, que tiene lugar en la corteza de un primate.

Para ello, tomaron cinco macacos Rhesus, a los que les implantaron pequeños electrodos en dos capas de la corteza cerebral, denominadas L2/3 y L5. A continuación, registraron las señales neuronales que se transmitían entre las dos capas mientras los monos aprendían una tarea. (Los monos primero tenían que ver una serie de imágenes y recibían una recompensa si después conseguían distinguirlas dentro de un conjunto de imágenes mucho mayor.) Con la práctica, los monos podían llevarla a cabo con un 75 por ciento de acierto. Pero si los científicos reintroducían la señal en la corteza mientras el mono realizaba la prueba, su rendimiento mejoraba en un 10 por ciento. Por el contrario, si se le proporcionaban al mono ciertos compuestos químicos, su rendimiento descendía en un 20 por ciento. Pero si la grabación se reintroducía en la corteza, el rendimiento superaba el nivel normal. Aunque el tamaño de la muestra era reducido y la mejora del rendimiento tampoco era grande, el estudio sugiere que la grabación de los científicos refleja fielmente el proceso de toma de decisiones por parte de la corteza.

Como el estudio se llevó a cabo con primates, en lugar de ratones, y se refería a la corteza y no al hipocampo, podría tener importantes consecuencias cuando comiencen las pruebas con humanos. El doctor Sam A. Deadwyler, de Wake Forest, lo explica: «La idea es que el dispositivo generaría un patrón de salida que evitaría atravesar el área dañada, buscando una conexión alternativa» en el cerebro.[13] Este experimento podría aplicarse a pacientes cuya neocorteza ha sufrido daños. Como unas muletas mentales, este dispositivo llevaría a cabo las operaciones en la zona dañada.

UN CEREBELO ARTIFICIAL

También debemos señalar que el hipocampo y la neocorteza artificiales no son más que los primeros pasos. Con el tiempo, otras partes del cerebro tendrán sus homólogos artificiales. Por ejemplo, unos científicos de la Universidad de Tel Aviv, en Israel, ya han creado un cerebelo artificial para una rata. El cerebelo es una parte fundamental del cerebro reptil que controla nuestro equilibrio y otras funciones corporales básicas.

Normalmente, cuando se le sopla a una rata a la cara, esta pestañea. Si en ese momento se emite un sonido, se puede condicionar a la rata para que pestañee con tan solo oír dicho sonido. El objetivo de los científicos israelíes era crear un cerebelo artificial capaz de replicar este hecho.

En primer lugar, los científicos registraron las señales que llegan al tronco encefálico cuando la rata siente el soplo de aire y oye el sonido. A continuación, la señal se procesa y se envía de vuelta a otro punto del tronco encefálico. Como era de esperar, la rata pestañea al recibir la señal. Esta no es solo la primera vez que un cerebelo artificial funciona correctamente, sino también la primera en que se extraen mensajes de una parte del cerebro, se procesan y se cargan en otra distinta.

Refiriéndose a su trabajo, Francisco Sepúlveda, de la Universidad de Essex, dice: «Esto demuestra lo mucho que hemos avanzado en la creación de circuitos que algún día podrían sustituir a las áreas del cerebro que hayan sufrido lesiones, e incluso podrían también incrementar la capacidad del cerebro sano».

Sepúlveda también ve un gran potencial para los cerebros artificiales en el futuro, y añade: «Probablemente tardemos varias décadas en llegar a ese punto, pero apuesto por que antes de que acabe el siglo ciertas partes del cerebro bien organizadas, como el hipocampo o la corteza visual, tendrán sus análogos sintéticos».[14]

Aunque el proceso de crear recambios artificiales para el cerebro avanza asombrosamente rápido, considerando la complejidad del proceso, es una carrera contrarreloj, si tenemos en cuenta que la mayor amenaza a la que se enfrenta nuestro sistema público de salud es la pérdida de memoria que sufren las víctimas del alzhéimer.

EL ALZHÉIMER, EL DESTRUCTOR DE LA MEMORIA

Hay quien cree que el alzhéimer podría ser la enfermedad del siglo. Actualmente, 5,3 millones de estadounidenses la padecen, y se estima que esta cifra se cuadruplique en 2050.[15] Un 5 por ciento de la población con edades comprendidas entre los 65 y los 74 años sufre alzhéimer, pero esa cifra aumenta hasta más del 50 por ciento para los mayores de 85 años, incluso aunque no presenten factores de riesgo evidentes. (En 1900, la esperanza de vida en Estados Unidos era de 49 años, por lo que el alzhéimer no era un problema importante. Pero hoy, el grupo de personas de más de 80 años

es uno de los que experimenta un mayor crecimiento demográfico.)

En los primeros estadios del alzhéimer, el hipocampo, la parte del cerebro en la que se procesan todos los recuerdos a corto plazo, comienza a deteriorarse. De hecho, los escáneres cerebrales muestran claramente cómo el hipocampo mengua en pacientes que padecen alzhéimer, pero la conexión entre la corteza prefrontal y el hipocampo también se reduce, lo que limita la capacidad cerebral de procesar correctamente los recuerdos a corto plazo. Los recuerdos a largo plazo, almacenados en las distintas cortezas cerebrales, permanecen relativamente intactos, al menos en un principio. Esto da lugar a una situación en la que la persona no recuerda lo que acaba de hacer unos pocos minutos antes, pero sí recuerda claramente eventos que sucedieron décadas atrás.

Con el tiempo, llega un momento en que la enfermedad ha avanzado tanto que destruye incluso los recuerdos básicos a largo plazo. La persona es entonces incapaz de reconocer a sus hijos o a su pareja, no recuerda quién es e incluso puede caer en un estado vegetativo.

Por desgracia apenas estamos empezando a entender los mecanismos básicos del alzhéimer. En 2012 se produjo un importante avance, cuando se supo que el alzhéimer comienza con la formación de proteínas tau, lo que a su vez acelera la formación de las proteínas beta amiloides, una sustancia pegajosa y gomosa que se acumula en el cerebro formando placas. (Antes no estaba claro si el alzhéimer lo provocaban esas placas o si estas eran resultado de un trastorno más fundamental.)

Lo que hace que sea tan difícil atacar estas placas con medicamentos es que es muy probable que estén compuestas de «priones», moléculas de proteínas deformes. No son bacterias ni virus, pero aun así pueden reproducirse. Cuando se observa a escala atómica, una molécula de proteína parece una ovillo de cintas de átomos atadas entre sí. Este batiburrillo de átomos debe plegarse sobre sí mismo correctamente para que la proteína asuma su forma y función adecuadas. Pero los priones son proteínas deformes, que se han plegado de manera incorrecta. Peor aún, cuando chocan con proteínas sanas, hacen que estas también se plieguen de forma incorrecta. Así, un prion puede provocar una cascada de proteínas deformes, y dar lugar a una reacción en cadena que contamine a miles de millones más.

En la actualidad, no se conoce ninguna manera de detener el avance inexorable del alzhéimer. No obstante, ahora que se han desentrañado los mecanismos básicos de la enfermedad, un método prometedor consiste en crear anticuerpos, o una vacuna, dirigidos específicamente contra estas proteínas deformes. Otra posibilidad sería la de crear un hipocampo artificial que les permitiese a estas personas recuperar la memoria a corto plazo.

Un tercer enfoque consistiría en utilizar la genética para incrementar directamente la capacidad del cerebro para generar recuerdos. Quizá existan genes que permitan mejorar la memoria. Puede que el futuro de la investigación sobre la memoria pase por el «ratón inteligente».

EL RATÓN INTELIGENTE

En 1999, el doctor Joseph Tsien y sus colegas en Princeton, el Instituto Tecnológico de Massachusetts y la Universidad de Washington descubrieron que la introducción de un único gen hacía que aumentase espectacularmente la memoria y las capacidades mentales de un ratón. Estos «ratones inteligentes» podían encontrar más rápido la salida de un laberinto y superaban a otros ratones en una gran variedad de pruebas. Recibieron el apodo de «ratones Doogie», en referencia al protagonista de la serie de televisión *Un médico precoz*.

Para empezar, el doctor Tsien analizó el gen NR2B, que actúa como un interruptor que controla la capacidad del cerebro para relacionar un evento con otro. (Los científicos conocen esta propiedad porque cuando el gen se silencia o se desactiva los ratones pierden esa capacidad.) Todo el aprendizaje depende de NR2B, porque controla la comunicación entre las células de la memoria en el hipocampo. Primero, el doctor Tsien creó una variedad de ratones que carecían de NR2B, y que presentaban dificultades para memorizar y para el aprendizaje. A continuación, creó otra variedad que poseía más copias de NR2B de lo normal, y comprobó que estos ratones tenían capacidades mentales superiores. Cuando se los colocaba en un estanque poco profundo, los ratones normales nadaban aleatoriamente de un lado para otro, olvidando que unos pocos días antes habían aprendido que había una plataforma oculta debajo del agua. Los ratones inteligentes, sin embargo, se dirigían directamente hacia la plataforma al primer intento.

Desde entonces, los investigadores han conseguido confirmar estos resultados en otros laboratorios y han creado variedades de ratones todavía más inteligentes. En 2009, el doctor Tsien publicó un artículo en el que anunciaba una variedad más de ratones inteligentes, apodada «Hobbie-J» (por un personaje de unos dibujos animados chinos). Hobbie-J era capaz de recordar hechos novedosos (como la ubicación de juguetes) durante un tiempo tres veces superior al de la variedad de ratón genéticamente modificado que antes se consideraba como la más inteligente. «Esto incide en la idea de que el NR2B es un interruptor universal para la formación de recuerdos»,[16] señala el doctor Tsien. «Es como convertir a Michael Jordan en un súper Michael Jordan», añade Deheng Wang, estudiante de doctorado.

Pero incluso para esta nueva variedad de ratones existen límites. Cuando se le ofrecía la opción de girar a izquierda o derecha para obtener una chocolatina como recompensa, Hobbie-J era capaz de recordar el camino correcto durante mucho más tiempo que un ratón normal, pero pasados cinco minutos también él lo olvidaba. «Nunca podremos convertirlos en matemáticos. Al fin y al cabo, son ratones»,[17] dice el doctor Tsien.

Conviene señalar que algunas de las variedades de ratones inteligentes eran excepcionalmente timoratas en comparación con los ratones normales. Hay quien sospecha que si la capacidad de la memoria aumenta demasiado, podríamos recordar también todos los fracasos y hechos dolorosos, y

quizá eso nos haga dudar. He aquí un posible inconveniente de recordar demasiado.

Ahora los científicos esperan extender sus resultados a los perros, con los que compartimos muchos genes, y quizá también a los humanos.

MOSCAS INTELIGENTES Y RATONES AMNÉSICOS

El gen NR2B no es el único que los científicos están estudiando en relación con su efecto sobre la memoria. En otra serie de pioneros experimentos, los científicos han conseguido crear una variedad de moscas de la fruta dotadas de memoria fotográfica, así como una raza de ratones amnésicos. Estos experimentos podrían permitir explicar muchos de los misterios de nuestra memoria a largo plazo, como por qué estudiar mucho en vísperas de un examen no es la mejor manera de prepararse y por qué recordamos eventos cuando tienen una gran carga emocional. Los científicos han descubierto que existen dos genes importantes, el CREB activador (que estimula la formación de nuevas conexiones entre las neuronas) y el CREB represor (que evita la formación de nuevos recuerdos).

El doctor Jerry Tin y Timothy Tully, de Cold Spring Harbor, han realizado interesantes experimentos con moscas de la fruta. Normalmente, necesitan diez intentos para que aprendan determinada tarea (como detectar un olor o evitar una descarga). Las moscas de la fruta con un gen CREB represor adicional eran completamente incapaces de generar recuerdos a largo plazo, pero lo verdaderamente sorprendente ocurrió cuando hicieron la prueba con moscas de la fruta con un gen CREB activador adicional, que aprendieron la tarea en una sola sesión. «Esto significa que estas moscas poseen memoria fotográfica —dice el doctor Tully—. Son como los alumnos capaces de leer un capítulo de un libro una sola vez, verlo en su mente, y saber que la respuesta se encuentra en el tercer párrafo de la página setenta y cuatro».[18]

Este efecto no se limita a las moscas de la fruta.[19] El doctor Alcino Silva, también de Cold Spring Harbor, ha estado experimentando con ratones y ha descubierto que los que tenían un defecto en el gen CREB activador eran prácticamente incapaces de generar recuerdos a largo plazo. Eran ratones amnésicos. Pero incluso estos ratones olvidadizos podían aprender alguna cosa si las lecciones eran cortas y tenían tiempo para descansar entre una y otra. Los científicos barajan la hipótesis de que en el cerebro tenemos una cantidad fija de CREB activador, que limita lo que podemos aprender en cada momento. Si intentamos estudiar mucho antes de un examen, agotaremos rápidamente la cantidad de CREB activadores y, por lo tanto, no podremos aprender más, al menos hasta que descansemos y recuperemos la cantidad de CREB activadores.

«Ahora podemos ofrecer una razón biológica por la que estos palizones de estudiar no funcionan»,[20] dice el doctor Tully. La mejor manera de preparar un examen final consiste en revisar mentalmente el material de manera periódica a lo largo del día hasta que se incorpore a nuestra

memoria a largo plazo.

Esto también podría explicar por qué los recuerdos con carga emocional son tan vívidos y pueden perdurar décadas. El gen CREB represor actúa como un filtro que se deshace de la información inútil. Pero si un recuerdo está vinculado con una emoción fuerte, o bien elimina el gen CREB represor o bien hace que aumenten los niveles de CREB activador.

Podemos esperar más avances en la comprensión de la base genética de la memoria. Probablemente, para moldear las inmensas capacidades del cerebro no se necesite un solo gen, sino una combinación compleja de varios. Estos genes, a su vez, tienen sus equivalentes en el genoma humano, por lo que cabe la posibilidad de que podamos también mejorar genéticamente nuestra memoria y nuestra capacidad mental.

Sin embargo, no conviene pensar que esto sucederá en un futuro próximo. Aún quedan muchos obstáculos por superar. Para empezar, no está claro que estos resultados se puedan aplicar a los humanos. Con frecuencia, las terapias prometedoras en ratones no se trasladan adecuadamente a nuestra especie. En segundo lugar, incluso si estos resultados se pudiesen trasladar a los humanos, no sabemos cuál sería su efecto. Por ejemplo, estos genes podrían mejorar nuestra memoria, pero no afectar a nuestra inteligencia en general. Por otra parte, la terapia génica (es decir, la reparación de los genes defectuosos) es más complicada de lo que se creía. Solo un reducido número de enfermedades genéticas se pueden curar con este método. Aunque los científicos utilizan virus inocuos para infectar nuestras células con el gen «bueno», el cuerpo sigue enviando anticuerpos para combatir al intruso, lo que con frecuencia limita la eficacia de la terapia. Es probable que sucediese lo mismo con la inserción de un gen para mejorar la memoria. (Además, el campo de la terapia génica sufrió un importante revés hace unos años, cuando un paciente murió en la Universidad de Pennsylvania tras someterse a esta técnica. Hay muchas dudas éticas, e incluso legales, que resolver en relación con la terapia génica para poder modificar genes humanos.)

Por lo tanto, los ensayos con humanos avanzarán mucho más despacio que los realizados con animales. No obstante, podemos imaginar que llegará el día en que este método se perfeccione y se haga realidad. Alterar nuestros genes de esta manera no requeriría más que un pinchazo en el brazo. Un virus inocuo entraría en nuestro torrente sanguíneo e infectaría a células normales inyectándoles sus genes. Una vez que este «gen inteligente» se hubiese incorporado a nuestras células, se activaría y liberaría proteínas capaces de aumentar nuestra memoria y nuestras capacidades cognitivas, al afectar al hipocampo y a la formación de recuerdos.

Si la inserción de genes resulta muy difícil, otra posibilidad pasa por insertar las proteínas adecuadas directamente en nuestro cuerpo, eliminando así la necesidad de la terapia génica. En lugar de una inyección, bastaría con ingerir una píldora.

UNA PÍLDORA INTELIGENTE

En última instancia, uno de los objetivos de esta investigación es el de crear una «píldora inteligente» que permitiese potenciar la concentración, mejorar la memoria y quizá aumentar nuestra inteligencia. Las empresas farmacéuticas han experimentado con varias sustancias, como la MEM 1003 y la MEM 1414, que aparentemente mejoran las funciones mentales.

Los científicos han descubierto que, en estudios con animales, los recuerdos a largo plazo son posibles gracias a la interacción entre enzimas y genes. El aprendizaje se produce cuando determinadas vías nerviosas se ven reforzadas con la activación de genes específicos, como el CREB, que a su vez generan la proteína correspondiente. Básicamente, cuanto mayor es la cantidad de proteínas CREB que circulan por el cerebro, más rápida es la formación de recuerdos a largo plazo.[21] Esto se ha podido comprobar en estudios con moluscos marinos, con moscas de la fruta y con ratones. La propiedad clave de la MEM 1414 es que acelera la producción de las proteínas CREB. En ensayos de laboratorio, los animales ancianos a los que se les suministraba MEM 1414 podían crear recuerdos a largo plazo bastante más rápido que el grupo de control.

Los científicos también están empezando a identificar con precisión la bioquímica necesaria para la formación de los recuerdos a largo plazo, tanto a nivel genético como molecular. Una vez que el proceso de la creación de recuerdos se entienda por completo, se desarrollarán terapias para acelerar o reforzar este proceso clave. De esta «potenciación cerebral» no se beneficiarán únicamente los ancianos y los enfermos de alzhéimer, sino también cualquier otra persona.

¿SE PUEDEN BORRAR LOS RECUERDOS?

Puede que el alzhéimer destruya recuerdos indiscriminadamente, pero ¿se podrían borrar de manera selectiva? La amnesia es uno de los recursos favoritos de Hollywood. En *El caso Bourne*, Jason Bourne (interpretado por Matt Damon), un habilidoso agente de la CIA, aparece flotando en el agua, dado por muerto. Cuando lo reviven, sufre una grave pérdida de memoria. Le persiguen implacablemente unos asesinos que quieren matarlo, pero él no sabe quién es, qué sucedió o por qué quieren verlo muerto. La única pista sobre su memoria es un asombrosa habilidad para combatir instintivamente como un agente secreto.

Está bien documentado que la amnesia puede producirse a consecuencia de un traumatismo, como un golpe en la cabeza. Pero ¿se pueden borrar recuerdos selectivamente? En la película *Olvídate de mí*, protagonizada por Jim Carrey, dos personas se conocen por casualidad en un tren y sienten una atracción inmediata. Pero su sorpresa es enorme al saber que en realidad fueron amantes años atrás, pero no conservan ningún recuerdo de ello. Se enteran de que pagaron a una empresa para que

eliminase cualquier recuerdo del otro después de una pelea especialmente agria. Aparentemente, el destino le ha dado al amor una segunda oportunidad.

Hombres de negro le da a la amnesia selectiva otra vuelta de tuerca. En esta película, Will Smith interpreta a un agente de una misteriosa organización secreta que usa un «neuralizador» para borrar selectivamente los recuerdos de encuentros con ovnis y con extraterrestres. Incluso se puede graduar hasta dónde debe remontarse el borrado de recuerdos.

Todos estos son ejemplos de tramas emocionantes y éxitos de taquilla, pero ¿es alguno de ellos realmente posible, incluso en el futuro?

Sabemos que la amnesia es posible, y que existen dos tipos fundamentales, en función de que esté afectada la memoria a corto o a largo plazo. La «amnesia retrógrada» sucede cuando algún traumatismo o daño cerebral provoca la pérdida de recuerdos preexistentes, normalmente hasta el evento que causó la amnesia. Esta sería similar a la amnesia que sufre Jason Bourne, que perdió todos sus recuerdos anteriores a cuando estuvo a punto de morir ahogado. Aquí el hipocampo está intacto, por lo que se pueden formar nuevos recuerdos, aunque la memoria a largo plazo está dañada. La «memoria anterógrada» ocurre cuando es la memoria a corto plazo la que sufre daños, de manera que la persona tiene dificultades para crear nuevos recuerdos posteriores al evento que provocó la amnesia. Normalmente, la amnesia puede durar minutos, e incluso horas, debido a los daños en el hipocampo. (La amnesia anterógrada tenía un papel destacado en la película *Memento*, en la que un hombre está decidido a vengar la muerte de su mujer. Pero el problema es que su memoria solo dura unos quince minutos, así que tiene que estar continuamente escribiendo mensajes en trozos de papel y en fotografías, o incluso en forma de tatuajes, para recordar las pistas que ha ido descubriendo sobre el asesino. Leyendo con esfuerzo este rastro de mensajes que se ha escrito a sí mismo, puede acumular pruebas cruciales que de otro modo olvidaría enseguida.)

Lo importante en este caso es que la pérdida de memoria se remonta hasta el momento del traumatismo o enfermedad, lo que hace que la amnesia selectiva de Hollywood sea muy improbable. Las películas como *Hombres de negro* suponen que los recuerdos se almacenan secuencialmente, y que se puede pulsar el botón de «borrar» a partir de determinado instante temporal. Sin embargo, sabemos que en realidad los recuerdos se descomponen y las distintas partes se conservan en diferentes áreas del cerebro.

UNA DROGA PARA OLVIDAR

Mientras tanto, los científicos están estudiando ciertas drogas que podrían borrar recuerdos traumáticos que nos persiguen y nos alteran. En 2009, científicos holandeses bajo la dirección de la doctora Merel Kindt anunciaron que habían descubierto una droga «milagrosa», llamada propanolol,

que podía aliviar el dolor asociado a los recuerdos traumáticos. La droga no podía inducir la amnesia que comienza en un momento específico, pero sí hacía que el dolor fuera más manejable. Y en solo tres días, según el estudio.

El descubrimiento provocó una sucesión de titulares, a la vista de los miles de personas que padecen trastorno por estrés postraumático (TEPT). Al parecer, todas ellas, desde los veteranos de guerra a las víctimas de abusos sexuales o de terribles accidentes, podrían ver aliviados sus síntomas. Pero los resultados del estudio también parecían chocar con la mayoría de las investigaciones sobre el cerebro, que demuestran que los recuerdos a largo plazo no están codificados eléctricamente, sino al nivel de las moléculas de proteínas. No obstante, experimentos recientes sugieren que la recuperación de recuerdos requiere tanto la extracción como el posterior reensamblaje del recuerdo, por lo que la propia estructura de la proteína podría variar en el proceso. En otras palabras, al recuperar un recuerdo de la memoria, este cambia. Este podría ser el motivo por el que la droga funciona: se sabe que el propanolol interfiere con la absorción de adrenalina, una de las claves para la creación de los recuerdos vívidos y duraderos que con frecuencia acompañan a los eventos traumáticos. «El propanolol se asienta en la célula nerviosa y la bloquea. Así, aunque la adrenalina esté presente, no puede realizar su función»,[22] explica el doctor James McGaugh, de la Universidad de California en Irvine. Dicho de otro modo: sin adrenalina, el recuerdo se desvanece.

Los resultados de ensayos controlados realizados con personas con recuerdos traumáticos son muy prometedores. Pero la droga chocó con un obstáculo infranqueable cuando se debatieron las repercusiones éticas del borrado de recuerdos. Entre los expertos en ética había a quienes, aunque no discutían su efectividad, les incomodaba la mera idea de una droga para olvidar, ya que los recuerdos existen por una razón: para enseñarnos las lecciones de la vida. Incluso los recuerdos desagradables, decían, sirven a un propósito mayor. La droga no obtuvo la aprobación del Consejo Presidencial de Bioética, cuyo informe concluyó que «atenuar nuestros recuerdos de cosas terribles [haría que] nos sintiésemos demasiado cómodos en este mundo, impasibles ante el sufrimiento, la maldad o la crueldad […] ¿Podemos ser insensibles a los mayores dolores de la vida sin serlo también a sus mayores alegrías?».[23]

El doctor David Magus, del Centro de Ética Biomédica de la Universidad de Stanford, opina que: «Por dolorosas que puedan ser las rupturas sentimentales y las relaciones, son experiencias de las que aprendemos. Nos hacen ser mejores personas».[24]

Hay quien no está de acuerdo. Como el doctor Roger Pitman, de la Universidad de Harvard, para quien, si un médico se encuentra con una víctima de un accidente que está sufriendo un intenso dolor, «¿deberíamos negarle la morfina porque le estaríamos privando de la experiencia emocional completa? ¿Quién podría discutirlo? ¿Por qué habría de ser diferente la psiquiatría? Creo que detrás de este argumento se oculta la idea de que los trastornos mentales no son como los trastornos físicos».[25]

La conclusión que surja de este debate podría tener una influencia directa sobre la siguiente generación de drogas, ya que el caso del propanolol no es único.

En 2008, dos grupos independientes que trabajaban con animales anunciaron otras drogas que podrían realmente borrar recuerdos, no solo aliviar el dolor que provocan. El doctor Joe Tsien, del Medical College de Georgia, y sus colegas en Shanghai anunciaron que habían conseguido eliminar un recuerdo en ratones utilizando una proteína denominada CaMKII, mientras que científicos del SUNY Downstate Medical Center, en Brooklyn, descubrieron que la molécula PKMzeta también podía borrar recuerdos. El doctor André Fenton, uno de los autores de este segundo estudio, afirmó que: «Si trabajos posteriores confirman esta idea, cabe esperar que algún día veamos terapias basadas en el borrado de recuerdos con PKMzeta».[26] La droga no solo podría borrar recuerdos dolorosos, sino también «sería útil en el tratamiento de la depresión, ansiedad general, fobias, estrés postraumático y adicciones», añadió.

Hasta ahora la investigación se ha limitado a los animales, pero pronto darán comienzo los ensayos con humanos. Si los resultados con los animales se confirman en humanos, la posibilidad de una droga para olvidar sería real. No sería una píldora como la de las películas de Hollywood (que convenientemente provoca amnesia en el momento oportuno), pero podría tener muchísimas aplicaciones médicas en el mundo real para personas atormentadas por recuerdos traumáticos. No obstante, aún está por ver cuán selectivo podría ser este borrado de recuerdos en los humanos.

¿QUÉ PUEDE IR MAL?

Puede llegar un día en que registremos minuciosamente todas las señales que atraviesan el hipocampo, el tálamo y el resto del sistema límbico, y generemos una grabación detallada de ellas. Entonces, insertando esa grabación en nuestro cerebro, seríamos capaces de volver a experimentar la totalidad de lo que otra persona había vivido. La pregunta sería entonces: ¿qué puede ir mal?

De hecho, la película *Proyecto Brainstorm* (1983), protagonizada por Natalie Wood y muy adelantada a su tiempo, exploraba las consecuencias de esta idea. En ella, los científicos desarrollan el Casco, un dispositivo lleno de electrodos que permite registrar al detalle todas las sensaciones que experimenta una persona. Después, otra persona puede vivir exactamente la misma experiencia sensorial al reproducir la grabación en su cerebro. Por diversión, una persona se pone el Casco mientras hace el amor y graba la experiencia. Luego, la grabación se pone en modo de reproducción continua, lo que magnifica enormemente la experiencia. Pero cuando otra persona, sin saber de qué se trata, inserta la experiencia en su cerebro, está a punto de morir de sobrecarga sensorial. Más adelante, una científica sufre un ataque al corazón que resulta mortal. Pero antes de morir graba sus últimos momentos en cinta. Cuando otra persona reproduce esa cinta mortal en su cerebro, también

sufre un infarto y muere.

Cuando por fin se divulga la existencia de este potente aparato, el ejército trata de hacerse con su control. Esto desencadena una lucha de poder entre el ejército, que lo ve como una potente arma, y los científicos, que quieren utilizarlo para desentrañar los secretos de la mente.

Proyecto Brainstorm ponía de manifiesto, como una profecía, no solo la promesa de esta tecnología, sino también sus riesgos potenciales. Debía ser ciencia ficción, pero hay científicos que creen que asuntos como estos ocuparán en el futuro los titulares de las noticias y se discutirán en los juzgados.

Ya hemos hablado sobre los prometedores avances en la grabación de un único recuerdo creado por un ratón. Puede que tengamos que esperar hasta mediados de siglo para grabar fielmente distintos recuerdos en primates y humanos. Pero para crear el Casco, capaz de grabar la totalidad de los estímulos que llegan al cerebro, hará falta conectarse directamente a los datos sensoriales que suben por la médula espinal hacia el tálamo. Probablemente esto no sea posible hasta finales de siglo.

PROBLEMAS SOCIALES Y LEGALES

Asistiremos a algunos aspectos de este dilema en el curso de nuestras vidas. Por una parte, puede que llegue un momento en que podamos aprender cálculo simplemente con descargarnos la habilidad. El sistema educativo experimentaría toda una revolución, que quizá permitiría a los profesores pasar más tiempo asesorando a los estudiantes y ofreciéndoles atención personalizada en áreas del aprendizaje menos basadas en habilidades y que no se podrían dominar con tan solo pulsar un botón. Este método permitiría también reducir drásticamente la memorización necesaria para llegar a ser médico, abogado o científico.

En principio, incluso podríamos obtener así recuerdos de vacaciones que nunca sucedieron, premios que nunca ganamos, amantes a los que nunca conocimos o familias que nunca tuvimos. Podría compensar nuestras deficiencias, creando recuerdos perfectos de una vida nunca vivida. A los padres les encantaría, porque así podría enseñarles a sus hijos lecciones extraídas de recuerdos reales. La demanda para un dispositivo así sería enorme. A algunos expertos en ética les preocuparía la idea de que estos recuerdos falsos fuesen tan vívidos que prefiriésemos revivir vidas imaginarias en lugar de experimentar nuestra vida real.

Los desempleados también se beneficiarían de la capacidad de adquirir nuevas habilidades útiles para encontrar trabajo mediante el implante de recuerdos. Históricamente, millones de trabajadores resultaron perjudicados cada vez que apareció una nueva tecnología, a menudo sin ninguna red de protección social. Esa es la razón por la que ya no hay herreros o fabricantes de carros. Se reconvirtieron en trabajadores de la industria automovilística o de otros sectores. Pero esa

reconversión requiere mucho tiempo y un elevado grado de compromiso. Si las habilidades se pudieran implantar en el cerebro, esto se dejaría sentir de inmediato en el sistema económico mundial, ya que no tendríamos que desperdiciar tanto capital humano. (En cierta medida, si cualquiera pudiese descargárselas, el valor de una determinada habilidad se devaluaría, pero esto lo compensaría el hecho de que el número y la calidad de los trabajadores especializados aumentaría enormemente.)

El sector del turismo también experimentaría un importante crecimiento. Una barrera para los viajes al extranjero es la dificultad de tener que aprender nuevas costumbres y frases para mantener una conversación. Los turistas podrían participar en la experiencia de vivir en otro país, sin el inconveniente de tener que dominar la moneda local y los detalles del sistema de transportes. (Aunque sería difícil cargar un idioma entero, con decenas de miles de palabras y expresiones, resultaría más fácil cargar la información suficiente para mantener una conversación básica.)

Inevitablemente, estas grabaciones de recuerdos acabarían en las redes sociales. En el futuro quizá podamos grabar un recuerdo y subirlo a internet para que millones de personas lo sientan y lo experimenten. Ya hemos hablando antes de la *brain-net* a través de la cual podríamos enviar pensamientos. Pero si los recuerdos se pudiesen grabar y crear, también podríamos enviar experiencias completas. Si alguien acaba de ganar una medalla de oro olímpica, ¿por qué no compartir la agonía y el éxtasis de la victoria colgando los recuerdos en la web? La experiencia podría volverse viral, y permitir que miles de millones de personas compartiesen ese momento de gloria. (Los niños, que están normalmente a la vanguardia de los videojuegos y de las redes sociales, se acostumbrarían a grabar experiencias memorables y a subirlas a internet. Del mismo modo que hacer una fotografía con el teléfono móvil, para ellos grabar recuerdos sería algo de lo más natural. Para ello, sería necesario que tanto el emisor como el receptor tuviesen nanocables casi invisibles conectados a su hipocampo. La información se enviaría mediante conexión inalámbrica a un servidor, que la convertiría en una señal digital que pudiese transmitirse por internet. De esta manera, podríamos tener blogs, foros, redes sociales y chats en los que, en lugar de subir fotografías y vídeos, cargaríamos recuerdos y emociones.)

UNA BIBLIOTECA DE ALMAS

La gente también querría tener un árbol genealógico de recuerdos. Cuando buscamos registros de nuestros antepasados, lo único que vemos es una representación unidimensional de sus vidas. A lo largo de la historia de la humanidad las personas han vivido, amado y muerto sin dejar un registro significativo de su existencia. Como mucho, encontramos la fecha de nacimiento y de defunción de nuestros parientes, y poco más entremedias. Hoy en día vamos dejando un largo rastro de

documentos electrónicos (recibos de la tarjeta de crédito, facturas, correos electrónicos, extractos de nuestras cuentas bancarias, etcétera). De hecho, la web se está convirtiendo en un repositorio gigante de todos los documentos que describen nuestra vida, pero esto sigue sin representar mucho sobre lo que pensamos o sentimos. Quizá en un futuro lejano la web se convierta en una biblioteca gigante donde quede constancia no solo de los detalles de nuestra vida, sino también de nuestra conciencia.

En el futuro la gente tendrá la costumbre de grabar sus recuerdos para compartir sus experiencias con sus descendientes. Si visitamos la biblioteca de recuerdos de nuestro clan podremos ver y sentir cómo vivían, y también qué lugar ocupamos en su seno.

Esto significa que cualquiera podrá revivir nuestra vida, mucho tiempo después de que hayamos muerto, con tan solo pulsar el botón de «play». Si esta visión se cumple, significará que podremos «traer de vuelta» a nuestros antepasados para pasar la tarde charlando con ellos, con solo introducir un disco en la biblioteca y pulsar un botón.

Si quisiésemos participar en las experiencias de nuestros personajes históricos favoritos, podríamos ver desde dentro cómo se sentían al hacer frente a las crisis más importantes de su vida. Si alguien es para nosotros un modelo a seguir y queremos saber cómo sobrellevó y sobrevivió a las mayores derrotas de su vida, podremos experimentar la grabación de sus recuerdos. Imaginemos la posibilidad de compartir los recuerdos de un científico ganador del Premio Nobel. Podríamos llegar a entender cómo se han producido los grandes descubrimientos o compartir los recuerdos de grandes políticos y estadistas cuando tuvieron que tomar decisiones cruciales que cambiaron la historia del mundo.

El doctor Miguel Nicolelis cree que todo esto será realidad algún día: «Cada uno de estos recuerdos perennes se valorará como una joya preciosa y única, una entre los miles de millones de mentes igualmente exclusivas que alguna vez vivieron, amaron, sufrieron y progresaron, hasta que, también ellas, fueron inmortalizadas, pero no para acabar sepultadas bajo lápidas frías y silenciosas, sino para ser liberadas a través de vívidos pensamientos, amores vividos intensamente y tristezas compartidas».[27]

EL LADO OSCURO DE LA TECNOLOGÍA

Algunos científicos han reflexionado sobre las repercusiones éticas de esta tecnología. Casi cualquier nuevo descubrimiento médico fue en su tiempo motivo de preocupación ética. Algunos fueron restringidos o prohibidos cuando se demostraron sus efectos nocivos (como la talidomida, un somnífero que provocaba daños en el feto). Otros tuvieron tanto éxito que alteraron la idea de quiénes somos, como los bebés probeta. Cuando en 1978 nació Louise Brown, el primer bebé probeta, fue tal el revuelo en los medios de comunicación que el Papa hizo público un documento en

el que criticaba esta tecnología. Pero, hoy en día, quizá nuestro hermano, nuestro hijo, nuestra pareja o incluso nosotros mismos seamos producto de la fertilización in vitro. Como muchas tecnologías, con el tiempo el público se acabará acostumbrando a la idea de que los recuerdos se pueden grabar y compartir.

Otros expertos en bioética tendrán preocupaciones diferentes. ¿Qué sucede si nos insertan recuerdos sin nuestro permiso? ¿Qué ocurre si esos recuerdos son dolorosos o destructivos? ¿Y qué hay de los enfermos de alzhéimer, cuyos recuerdos se podrían grabar aunque ellos están incapacitados para dar el pertinente permiso?

A Bernard Williams, filósofo de la Universidad de Oxford ya fallecido, le preocupaba que este aparato pudiese perturbar el orden natural de las cosas, que pasa por el olvido: «Olvidar es el proceso más beneficioso de que disponemos»,[28] decía.

Si se pudiesen implantar recuerdos como ahora se descargan ficheros de ordenador, esto pondría a prueba nuestro sistema legal. Uno de los pilares de la justicia es la declaración de los testigos presenciales, pero ¿qué sucedería si se implantasen recuerdos falsos? Y si se pudiese crear el recuerdo de un delito, también se podría implantar en el cerebro de una persona inocente sin que esta lo supiese. O si un delincuente necesitase una coartada, podría implantarle un recuerdo a otra persona sin que esta fuese consciente de ello y así convencerla de que estaban juntas cuando el delito se cometió. No solo los testimonios verbales, sino también los documentos legales estarían en entredicho, ya que cuando firmamos declaraciones y documentos legales recurrimos a nuestra memoria para dilucidar qué es verdad y qué no.

Habría que implantar salvaguardas. Se tendrían que aprobar leyes que definiesen claramente los límites para otorgar o denegar el acceso a los recuerdos. Igual que ahora existen leyes que limitan la capacidad de la policía o de terceros para entrar en nuestro domicilio, tendría que haber leyes para evitar que otras personas tuviesen acceso a nuestros recuerdos sin nuestro permiso. También debería haber alguna manera de marcar los recuerdos para que la persona fuese consciente de que eran falsos. Así, podríamos disfrutar de los recuerdos de unas estupendas vacaciones, pero sabiendo que nunca sucedieron.

Grabar, almacenar y descargar nuestros recuerdos podría permitirnos guardar un registro del pasado y dominar nuevas habilidades. Pero eso no modificaría nuestra capacidad innata para consumir y procesar esta enorme cantidad de información. Para hacerlo, necesitaríamos mejorar nuestra inteligencia. Los avances en este sentido se ven dificultados por el hecho de que no existe una definición de inteligencia aceptada universalmente. No obstante, sí tenemos un ejemplo de genialidad e inteligencia que nadie puede discutir: Albert Einstein. Sesenta años después de su muerte, su cerebro aún sigue proporcionándonos valiosos indicios sobre la naturaleza de la inteligencia.

Algunos científicos creen que, utilizando una combinación de electromagnetismo, genética y terapia con drogas, sería posible aumentar nuestra inteligencia hasta alcanzar el nivel de los genios.

Se remiten al hecho de que tenemos constancia de que algunas lesiones cerebrales han hecho que una persona normal se convirtiese de la noche a la mañana en un *savant*, una persona con extraordinarias capacidades mentales y artísticas. Pero, si esto es lo que sucede con algunos accidentes, ¿qué ocurre cuando la ciencia interviene e ilumina los secretos de este proceso?

6

El cerebro de Einstein y el incremento de la inteligencia

> El cerebro es más grande que el cielo. Si los pones uno junto a otro, el primero contiene con holgura al segundo. Y a ti a su lado.
>
> EMILY DICKINSON

> El talento acierta en la diana donde los demás yerran. El genio acierta en la diana que los demás ni siquiera ven.
>
> ARTHUR SCHOPENHAUER

No se sabía dónde estaba el cerebro de Einstein.

O al menos no se supo durante cincuenta años, hasta que los herederos del médico que lo hizo desaparecer poco después de la muerte del físico en 1955, lo devolvieron al Museo Nacional de Salud y Medicina en 2010. El análisis del cerebro de Einstein ayuda a aclarar preguntas como: ¿qué es el genio? o ¿cómo medimos la inteligencia y su relación con el éxito en la vida? Y también cuestiones filosóficas: ¿depende el genio de los genes, o es más bien cuestión de esfuerzo y logro personal? Y, por último, el cerebro de Einstein podría ayudar a responder a la pregunta clave: ¿cómo podemos aumentar nuestra inteligencia?

La palabra «Einstein» ha dejado de ser un nombre propio que hace referencia a una persona en particular para significar simplemente «genio». La imagen a la que el nombre remite (pantalones anchos, flamante pelo blanco, aspecto desaliñado) es tan icónica como reconocible al instante.

El legado de Einstein es enorme. Cuando algunos físicos plantearon en 2011 la posibilidad de que estuviese equivocado y que las partículas pudieran superar la velocidad de la luz, eso provocó tal torbellino de controversia en el mundo de la física que llegó hasta los medios de comunicación. La simple idea de que la relatividad, el pilar de la física moderna, pudiese ser errónea, provocó la incredulidad de los físicos de todo el mundo. Como se esperaba, cuando el resultado se recalibró, se demostró que Einstein estaba una vez más en lo cierto. Siempre es peligroso apostar contra él.

Una manera de acercarnos a la respuesta de la pregunta «¿qué es el genio?» consiste en analizar el cerebro de Einstein. Al parecer, en el calor del momento, el doctor Thomas Harvey, el médico que estaba realizando la autopsia del cadáver de Einstein, en el hospital de Princeton, decidió conservar su cerebro en secreto, en contra de los deseos de la familia.

Puede que lo hiciese con la imprecisa idea de que algún día esto permitiría desentrañar los secretos del genio. Quizá pensó, como tantos otros, que existía algún área específica del cerebro de Einstein donde radicaba su enorme inteligencia. Brian Burrell, en su libro *Postcards from the Brain Museum* (*Postales desde el museo de cerebros*), especula con la idea de que quizá el doctor Harvey «se dejó llevar por la emoción del momento y la presencia de la verdadera grandeza lo paralizó. Pero pronto descubrió que la situación le venía grande».[1]

Lo que sucedió con el cerebro de Einstein a partir de ahí parece más una comedia que una historia de ciencia. Durante años el doctor Harvey prometió que publicaría los resultados de su análisis del cerebro de Einstein. Pero no era neurólogo, y fue poniendo una excusa tras otra. Durante décadas el cerebro permaneció en dos grandes frascos de cristal rellenos de formaldehído y metidos en una caja de botellas de sidra, bajo una nevera de cervezas. Hizo que un técnico cortase el cerebro en doscientas cuarenta partes, y en alguna que otra ocasión le envió unas pocas a algún científico que quería estudiarlas. Una vez le envió las partes a un científico de Berkeley en un tarro de mayonesa.

Cuarenta años más tarde, el doctor Harvey atravesó el país al volante de un Buick Skylark llevando el cerebro de Einstein en un *tupper ware*, con la esperanza de devolvérselo a Evelyn, la nieta de Einstein, pero esta se negó a aceptarlo. Tras la muerte del doctor Harvey en 2007, les correspondió a sus herederos la tarea de donar adecuadamente a la ciencia su colección de diapositivas y de partes del cerebro de Einstein. La historia es tan extraordinaria que se rodó un documental para la televisión sobre ella.

(Hay que señalar que el cerebro de Einstein no ha sido el único que se ha preservado para la posteridad. Un siglo antes, otro médico conservó también el de uno de los mayores genios de las matemáticas, Carl Friedrich Gauss, al que se conoce como el Príncipe de los Matemáticos. En esa época la anatomía del cerebro aún estaba en buena medida por explorar, y no se pudo sacar ninguna conclusión, más allá de que sus circunvoluciones o pliegues eran anómalamente grandes.)

Cabría esperar que el cerebro de Einstein fuese muy distinto del de un humano ordinario, que fuese enorme, quizá con partes anormalmente grandes. De hecho, ha resultado ser lo contrario: es ligeramente más pequeño de lo normal. En general, es un cerebro bastante normal. Si un neurólogo no supiese que se trata del cerebro de Einstein, probablemente nada le llamaría la atención.

Las únicas diferencias que se han encontrado son relativamente menores. Cierta parte de su cerebro, los llamados giros angulares, eran más grandes de lo normal, y las regiones parietales inferiores de ambos hemisferios eran un 15 por ciento más anchas que la media. Precisamente, estas partes del cerebro intervienen en el pensamiento abstracto, en la manipulación de símbolos como la

escritura y las matemáticas, y en el procesamiento viso-espacial. Pero su cerebro entraba dentro de lo normal, así que no está claro si el origen del genio de Einstein estaba en la estructura orgánica de su cerebro, la fuerza de su personalidad, su manera de ver el mundo y la época en la que vivió. Cuando hace unos años escribí su biografía, titulada *El universo de Einstein,* tenía claro que determinadas características de su vida tenían tanta importancia como cualquier anomalía de su cerebro. Quizá fuese el propio Einstein quien mejor lo expresó, cuando dijo: «No poseo ningún talento especial […] Solo soy apasionadamente curioso». De hecho, Einstein confesó que en su juventud tenía problemas para entender las matemáticas. En una ocasión les confió a un grupo de niños en un colegio: «Por muchas dificultades que tengáis con las matemáticas, las mías fueron mayores». Entonces, ¿por qué Einstein fue Einstein?

Primero, Einstein pasaba la mayor parte de su tiempo pensando mediante «experimentos mentales». Era físico teórico, no experimental, por lo que estaba continuamente ejecutando complejas simulaciones del futuro en su cabeza. En pocas palabras, su laboratorio era su mente.

Segundo, se sabía que podía dedicar diez años o más a un solo experimento mental. Entre los dieciséis y los veintiséis años, se concentró en el problema de la luz y en saber si era posible ir más rápido que un haz de luz. Esto condujo al nacimiento de la relatividad especial, que más adelante nos reveló el secreto de las estrellas y nos dio la bomba atómica. Entre los veintiséis y los treinta y seis años se dedicó a la teoría de la gravedad, que acabó dándonos los agujeros negros y la teoría del Big Bang. Y desde los treinta y seis hasta el final de su vida trató de encontrar una teoría del todo que unificase toda la física. Claramente, la capacidad de dedicar diez años o más a un solo problema refleja la tenacidad con la que debía de simular los experimentos en su cabeza.

Tercero, su personalidad era importante. Era un bohemio, por lo que para él rebelarse contra la física establecida fue algo natural. No todos los físicos tenían el aplomo ni la imaginación para desafiar la teoría de Isaac Newton, cuyo dominio duraba ya doscientos años.

Cuarto, había llegado el momento para que surgiese un Einstein. En 1905, el mundo de la vieja física de Newton se estaba derrumbando a la luz de varios experimentos que ponían claramente de manifiesto que una nueva física estaba a punto de nacer, esperando que un genio le mostrase el camino. Por ejemplo, la misteriosa sustancia llamada radio que brillaba espontáneamente en la oscuridad de manera indefinida, como si la energía se crease de la nada, violando la ley de conservación de la energía. En otras palabras, Einstein era el hombre adecuado para la época. Si de alguna manera fuese posible clonar a Einstein a partir de las células de su cerebro, sospecho que el clon no sería el próximo Einstein. También deben darse las circunstancias históricas propicias para que surja un genio.

La idea fundamental es que el genio sea quizá una combinación de haber nacido con ciertas capacidades mentales, y también el impulso y la determinación para conseguir grandes cosas. La esencia del genio de Einstein estuviese probablemente en su extraordinaria capacidad para simular el

futuro mediante experimentos mentales, creando nuevos principios físicos a partir de imágenes. En palabras del propio Einstein: «El verdadero signo de inteligencia no es el conocimiento, sino la imaginación». Y, para él, la imaginación implicaba hacer añicos los límites de los conocido y adentrarse en el terreno de lo desconocido.

Todos nosotros nacemos con ciertas capacidades programadas en los genes y nuestra estructura cerebral. Son las cartas con las que jugamos. Pero la manera en que organizamos nuestros pensamientos y experiencias y cómo simulamos el futuro es algo que podemos controlar por completo. Charles Darwin escribió: «Siempre he defendido que, dejando aparte a los idiotas, los hombres no difieren mucho en intelecto, sino que solo se distinguen por su fervor y su capacidad de trabajo».[2]

¿SE PUEDE APRENDER EL GENIO?

Esto reaviva la cuestión: ¿los genios nacen o se hacen?; ¿contribuye el debate entre naturaleza y cultura a resolver el misterio de la inteligencia?; ¿puede una persona normal convertirse en un genio?

Puesto que es muy difícil crear nuevas células cerebrales, en otra época se pensaba que la inteligencia quedaba determinada cuando alcanzábamos la adolescencia. Pero las nuevas investigaciones sobre el cerebro están dejando algo cada vez más claro: el propio cerebro puede cambiar cuando aprende. Aunque no se incorporan células cerebrales a la corteza, las conexiones entre las neuronas cambian cada vez que se aprende una nueva tarea.

Por ejemplo, en 2011 los científicos analizaron el cerebro de los famosos taxistas londinenses, que deben memorizar laboriosamente veinticinco mil calles del vertiginoso laberinto que es el Londres moderno. Los aspirantes tardan entre tres y cuatro años en preparar el duro examen, y solo la mitad de ellos lo superan.

Los científicos del University College de Londres estudiaron el cerebro de estos conductores antes de que se presentaran al examen, y lo volvieron a analizar tres o cuatro años más tarde. Quienes habían aprobado tenían mayor volumen de materia gris que antes, en el hipocampo posterior y en el anterior. Recordemos que el hipocampo es donde se procesan los recuerdos. (Curiosamente, los análisis también demostraron que estos taxistas obtuvieron una puntuación por debajo de la media en el procesamiento de información visual, por lo que quizá tenga una contrapartida y haya que pagar un precio por aprender ese volumen de información.)

«El cerebro humano sigue siendo “plástico”, incluso en la vida adulta, lo que le permite adaptarse cuando aprendemos nuevas tareas»,[3] dice Eleanor Maguire, del Wellcome Trust, que financió el estudio. «Esto debe servir de estímulo para los adultos que desean aprender nuevas habilidades a una

edad avanzada.»

De manera similar, el cerebro de los ratones que han aprendido muchas tareas son ligeramente distintos del de aquellos que no las han aprendido. No es tanto que haya variado el número de neuronas, como que el proceso de aprendizaje ha alterado la naturaleza de las conexiones neuronales. En otras palabras, aprender realmente cambia la estructura del cerebro.

Esto remite al viejo refrán que dice: «La práctica hace al maestro». El doctor Donald Hebb, un psicólogo canadiense, descubrió un hecho importante sobre las conexiones cerebrales: cuando más ejercitamos ciertas habilidades, más se refuerzan determinadas vías nerviosas en nuestro cerebro, de manera que la tarea se vuelve más fácil. A diferencia de un ordenador digital, que es tan tonto hoy como lo era ayer, el cerebro es una máquina de aprender que posee la capacidad de reorganizar sus vías nerviosas cada vez que aprende algo. Esta es una diferencia fundamental entre un ordenador digital y el cerebro.

Esta lección es de aplicación no solo para los taxistas londinenses, sino también para consumados músicos de orquesta. Según el psicólogo K. Anders y sus colegas, que estudiaron a los expertos violinistas de la elitista Academia de Música de Berlín, a los veinte años, los violinistas de primer nivel podían fácilmente haber acumulado diez mil horas de ensayos agotadores, ya que ensayaban más de treinta horas a la semana. Por su parte, el estudio descubrió que los alumnos que eran meramente excepcionales estudiaban únicamente ocho mil horas o menos, y los futuros profesores de música practicaban solo un total de cuatro mil horas. El neurólogo Daniel Levitin dice: «La imagen que surge de estos estudios es que son necesarias diez mil horas de práctica para alcanzar el nivel de maestría que se espera de un experto de talla mundial en cualquier campo […] En estudio tras estudio, ya sea de compositores, jugadores de baloncesto, escritores de ficción, patinadores sobre hielo, pianistas de concierto, jugadores de ajedrez, consumados delincuentes o lo que sea, este número aparece una y otra vez».[4] Malcolm Gladwell, en su libro *Fuera de serie (Outliers)*, lo llama «la regla de las diez mil horas».

¿CÓMO SE MIDE LA INTELIGENCIA?

Pero ¿cómo se mide la inteligencia? Durante siglos, cualquier discusión sobre la inteligencia estaba basada en rumores y anécdotas. Pero ahora los estudios con escáner de imagen por resonancia magnética han demostrado que la actividad principal del cerebro mientras resuelve esos rompecabezas matemáticos se produce en la vía que conecta la corteza prefrontal (que interviene en el pensamiento racional) con los lóbulos parietales (que procesan los números). Esto encaja con los resultados de los estudios anatómicos del cerebro de Einstein, según los cuales sus lóbulos parietales inferiores eran más grandes de lo normal. Por lo tanto, es posible que exista una correlación entre la

capacidad matemática y la intensidad de los flujos entre la corteza prefrontal y los lóbulos parietales. Pero ¿el tamaño de esta área de su cerebro aumentó debido a la dedicación y al estudio, o Einstein nació así? La respuesta aún no está clara.

El problema fundamental es que no existe una definición ampliamente aceptada de inteligencia, y aún menos consenso entre los científicos sobre cuál es su origen. Pero encontrar una respuesta es crucial si lo que buscamos es mejorarla.

LOS TEST DE INTELIGENCIA Y EL DOCTOR TERMAN

En la práctica, la medida de la inteligencia que más se utiliza es el test para determinar el cociente intelectual (CI), empleado por primera vez por el doctor Lewis Terman, de la Universidad de Stanford, quien en 1916 revisó un test anterior diseñado por Alfred Binet para el gobierno francés. A partir de entonces, fue durante décadas la referencia más importante para medir la inteligencia. Terman, de hecho, dedicó su vida a defender la idea de que la inteligencia se podía medir y heredar, y era el mejor indicador del éxito en la vida.

Cinco años más tarde, Terman emprendió un monumental estudio sobre niños en edad escolar, sus *Estudios genéticos del genio*.[5] Se trataba de un estudio ambicioso, sin precedentes en cuanto a su alcance y duración en la década de 1920. Marcó la tónica de la investigación en este campo durante toda una generación. Dejó constancia de los éxitos y fracasos de estos individuos a lo largo de su vida, consignada metódicamente en voluminosos ficheros con sus historiales. A estos estudiantes con un elevado cociente intelectual se los conocía como «termitas».

En un primer momento, la idea del doctor Terman tuvo un sonoro éxito. Se convirtió en el estándar con el que se comparaban los demás test y con el que se medía la inteligencia de los niños. Durante la Primera Guerra Mundial, 1,7 millones de soldados se sometieron a su prueba. Pero, con los años, la percepción fue variando lentamente. Décadas más tarde, los niños que habían obtenido una alta puntuación en el test de cociente intelectual solo habían alcanzado un éxito moderadamente mayor que el resto. Terman podía señalar con orgullo que algunos de sus estudiantes habían ganado premios y tenían trabajos bien pagados, pero al mismo tiempo cada vez era mayor su incomodidad ante la evidencia de que muchos de sus estudiantes más brillantes eran, para la sociedad, unos fracasados, con trabajos de baja categoría, sin perspectivas de futuro, incluso delincuentes, o viviendo en los márgenes de la sociedad. Los resultados fueron muy decepcionantes para Terman, que había dedicado su vida a demostrar que un elevado cociente intelectual era sinónimo de éxito en la vida.

EL ÉXITO EN LA VIDA Y DIFERIR LAS GRATIFICACIONES

En 1972, el doctor Walter Mischel, también de la Universidad de Stanford, probó un enfoque diferente y analizó otra característica de los niños: su capacidad para diferir las gratificaciones. Fue el primero en utilizar la «prueba del bombón», que consiste en analizar si un niño prefiere recibir un bombón ahora o la posibilidad de recibir dos veinte minutos más tarde. Seiscientos niños, entre los cuatro y los seis años, participaron en el experimento. Cuando Mischel volvió a entrevistar a los participantes en 1988, vio que los que eran capaces de diferir la gratificación eran más competentes que los demás.

En 1990, otro estudio demostró que existía una correlación directa entre la capacidad de diferir la gratificación y los resultados obtenidos en las pruebas de acceso a la universidad. Y un estudio realizado en 2011 indicó que esta característica perduraba a lo largo de la vida de la persona. Los resultados de estos y de otros estudios fueron reveladores. Los niños capaces de diferir la gratificación obtenían mejores resultados en prácticamente cualquier parámetro para medir el éxito en la vida: trabajos mejor pagados, menor adicción a las drogas, mejores notas en los exámenes, mayores logros educativos, mejor integración social, entre otros.

Pero lo que resulta más intrigante es que las imágenes cerebrales de estos individuos mostraban un patrón definido. Presentaban claras diferencias en la manera en que la corteza prefrontal interactuaba con el cuerpo estriado ventral, un área relacionada con las adicciones. (Lo cual no es sorprendente, puesto que el cuerpo estriado ventral contiene el núcleo accumbens, conocido como «centro del placer». Así pues, parece que existe una tensión entre la parte del cerebro que busca el placer y la parte racional que trata de controlar las tentaciones, como vimos en el capítulo 2.)

La diferencia no era casual. Muchos grupos independientes han hecho pruebas parecidas a lo largo de los años, con resultados casi idénticos. Otros estudios también han confirmado la diferencia en la circuitería frontal-estriada del cerebro, probablemente la que rige la capacidad de diferir la gratificación. Parece ser que la característica que guarda una correlación más estrecha con el éxito en la vida, que persiste durante décadas, es la capacidad de diferir las gratificaciones.

Aunque es una burda simplificación, lo que estas imágenes cerebrales muestran es que la conexión entre los lóbulos prefrontal y parietal es importante para el pensamiento matemático y abstracto, mientras que la conexión entre el lóbulo prefrontal y el sistema límbico (que participa en el control consciente de las emociones y contiene el centro del placer) es aparentemente fundamental para tener éxito en la vida.

El doctor Richard Davidson, neurocientífico en la Universidad de Wisconsin-Madison, concluye lo siguiente: «Las notas en el colegio o los resultados en las pruebas de acceso a la universidad tienen menos importancia para el éxito en la vida que la capacidad de diferir las gratificaciones o la de concentrar la atención. Estas habilidades son mucho más importantes para el éxito en la vida —todos

los datos así lo demuestran— que el cociente intelectual o las notas académicas».[6]

NUEVAS MEDIDAS DE LA INTELIGENCIA

Claramente, debe haber otras maneras de medir la inteligencia y el éxito en la vida. No es que los test para medir el cociente intelectual no sirvan para nada, sino que solo reflejan una forma limitada de inteligencia. El doctor Michael Sweeney, autor de *Brain: The Complete Mind*, apunta que: «Los test no miden la motivación, la perseverancia, las habilidades sociales y otras muchas características de una vida bien vivida».[7]

El problema de muchos de estos test normalizados es que podría existir un sesgo inconsciente debido a las influencias culturales. Además, estos test solo evalúan una determinada forma de inteligencia, que algunos psicólogos denominan inteligencia «convergente». La inteligencia convergente se centra en una línea de pensamiento e ignora la inteligencia «divergente», más compleja, que tiene en cuenta diversos factores. Por ejemplo, durante la Segunda Guerra Mundial, las fuerzas aéreas estadounidenses pidieron a los científicos que idearan un examen psicológico para medir la inteligencia y la capacidad de gestionar situaciones difíciles e inesperadas de los pilotos. Una de las preguntas era: «Si derriban tu avión en pleno territorio enemigo y debes encontrar la manera de volver a la zona amiga, ¿qué harías?». Los resultados chocaron con las ideas tradicionales.

La mayoría de los psicólogos esperaban que los pilotos con elevados cocientes intelectuales obtuviesen también los mejores resultados en el estudio. Pero lo que sucedió fue lo contrario. Los pilotos que obtuvieron las puntuaciones más altas fueron los que presentaban un pensamiento divergente y podían combinar muchas líneas de pensamiento diferentes.[8] Por ejemplo, estos pilotos eran capaces de idear toda una variedad de métodos imaginativos y poco ortodoxos para escapar después de ser capturados tras las líneas enemigas.

La diferencia entre el pensamiento convergente y el divergente se refleja también en los estudios de los pacientes con cerebro dividido, que ponen de manifiesto que cada hemisferio cerebral está eminentemente configurado para albergar uno u otro tipo de pensamiento. El doctor Ulrich Kraft, de Fulda (Alemania), escribe lo siguiente: «El hemisferio izquierdo es responsable del pensamiento convergente y el derecho del pensamiento divergente. La mitad izquierda examina los detalles y los procesa de manera lógica y analítica, pero no es capaz de establecer conexiones generales y abstractas. La mitad derecha es más imaginativa e intuitiva, y tiende a funcionar de manera holística, integrando las piezas del puzle de información en un todo».[9]

Mi postura en este libro es que la conciencia humana implica la capacidad de crear un modelo del mundo y simular su evolución en el futuro para alcanzar un objetivo. Los pilotos que dieron muestras de pensamiento divergente fueron capaces de simular muchos eventos futuros con precisión y con un

grado mayor de complejidad. Análogamente, los niños que fueron capaces de diferir las gratificaciones en el experimento del bombón son quienes poseen una mayor capacidad para simular el futuro, para ver las recompensas a largo plazo y no solo la promesa de grandes beneficios inmediatos.

Un test de inteligencia más sofisticado, que cuantificase directamente la capacidad que posee una persona de simular el futuro, sería más difícil de diseñar, pero no imposible. Se le podría pedir a esa persona que, para ganar en un juego, crease tantos escenarios realistas del futuro como pudiese y después asignarle una puntuación en función del número de simulaciones que la persona puede imaginar y de la cantidad de relaciones causales presentes en cada uno de ellos. En lugar de evaluar simplemente la capacidad de la persona para asimilar información, este nuevo método mediría su capacidad de manipular y moldear esa información para alcanzar un objetivo. Por ejemplo, a una persona se le podría pedir que piense cómo escapar de una isla desierta llena de animales salvajes hambrientos y serpientes venenosas. Tendría que hacer una lista de todas las posibles maneras de sobrevivir, mantenerse a salvo de los animales peligrosos y salir de la isla, creando un elaborado árbol causal de resultados y futuros posibles.

Vemos aquí que hay un hilo común que recorre toda esta conversación, y es que parece que existe una correlación entre la inteligencia y la complejidad con la que podemos simular eventos futuros, lo que a su vez remite a nuestra anterior discusión sobre la conciencia.

Pero, a la vista de los rápidos avances que se están produciendo en los laboratorios de todo el mundo, con los campos magnéticos, la genética y las terapias con medicamentos, ¿es posible no solo medir nuestra inteligencia, sino también aumentarla, convertirnos en un nuevo Einstein?

AUMENTAR NUESTRA INTELIGENCIA

Esta posibilidad era la que exploraba la novela *Flores para Algernon* (1958), que ganó un Oscar cuando se llevó al cine con el título de *Charly* (1968). En ella seguimos la triste vida de Charly Gordon, que tiene un cociente intelectual de 68 y un trabajo de poca categoría en una panadería. Lleva una vida sencilla, es incapaz de entender que sus compañeros de trabajo se pasan el día riéndose de él y ni siquiera sabe cómo se escribe su nombre.

Su única amiga es Alice, una profesora que se apiada de él e intenta enseñarle a leer. Pero un día los científicos idean una nueva técnica quirúrgica que permite volver inteligentes a ratones normales. Alice se entera y decide presentar a Charly a los científicos, que acceden a realizar la operación en su primer sujeto humano. En pocas semanas, Charly está notablemente cambiado. Su vocabulario aumenta, devora libros de la biblioteca, se convierte en una especie de mujeriego y su habitación se llena de arte moderno. Poco después empieza a leer sobre relatividad y teoría cuántica, llegando a la

frontera de la física avanzada. Incluso se convierte en amante de Alice.

Pero entonces los médicos ven cómo los ratones van perdiendo lentamente sus nuevas habilidades hasta morir. Al tomar conciencia de que pronto él también lo perderá todo, Charly intenta denodadamente utilizar su intelecto privilegiado para encontrar una cura, pero finalmente se ve obligado a presenciar su inexorable declive. Su vocabulario se reduce, olvida las matemáticas y la física, y vuelve poco a poco a ser quien era. En la escena final, una desolada Alice ve cómo Charly juega con los niños.

A la novela y a la película, pese a ser conmovedoras y a recibir el beneplácito de la crítica, se las despachó como mera ciencia ficción. La trama era emocionante y original, pero la idea de aumentar la inteligencia de una persona se consideraba ridícula. Las células del cerebro no se regeneran, decían los científicos, así que la trama de la película es obviamente imposible.

Pero ahora ya no.

Aunque aún es imposible aumentar nuestra inteligencia, en los campos de los sensores electromagnéticos, la genética y las células madre se están produciendo rápidos avances que algún día quizá hagan realidad esta posibilidad. En particular, el interés científico se ha centrado en los «*savants* autistas», que poseen capacidades fenomenales y extraordinarias que hacen que la imaginación se tambalee. Y, lo que es más importante, como consecuencia de determinadas lesiones cerebrales, una persona normal puede adquirir rápidamente estos poderes casi milagrosos. Algunos científicos incluso creen que se podrían inducir estas asombrosas capacidades utilizando campos electromagnéticos.

SAVANTS: ¿SUPERGENIOS?

Una bala atravesó el cráneo del señor Z cuando tenía nueve años. No lo mató, como temían los médicos, pero provocó graves daños en la mitad izquierda de su cerebro, lo que le provocó la parálisis del lado derecho del cuerpo y lo dejó sordo y mudo para siempre.

Pero la bala tuvo también un extraño efecto secundario. El señor Z desarrolló extraordinarias habilidades mecánicas y una prodigiosa memoria, algo típico de los *savants*.

El señor Z no es el único. En 1989, un chico de diez años llamado Orlando Serrell quedó inconsciente por el impacto de una pelota de béisbol contra la parte izquierda de su cabeza. Al principio se quejó de fuertes dolores de cabeza. Pero, una vez que el dolor pasó, era capaz de hacer asombrosos cálculos matemáticos y tenía una memoria casi fotográfica para ciertos acontecimientos de su vida. Además, podía calcular fechas miles de años en el futuro.

En un mundo con alrededor de siete mil millones de personas, apenas hay unos cien casos documentados de estos portentosos *savants*. (La cifra es mucho mayor si incluimos a quienes poseen

habilidades mentales extraordinarias, pero no sobrehumanas. Se cree que alrededor del 10 por ciento de los individuos autistas exhibe algún tipo de capacidad propia de *savants*.) Estos extraordinarios *savants* poseen capacidades que superan con creces nuestra comprensión científica actual.

Son varios los tipos de *savants* que recientemente han llamado la atención de los científicos. Alrededor de la mitad de los *savants* padecen alguna forma de autismo (la otra mitad muestra distintas formas de enfermedad mental o trastorno psicológico). Tienen graves problemas para interactuar socialmente, lo que resulta en un profundo aislamiento.

También está el «síndrome del *savant* adquirido», en el que personas que son perfectamente normales sufren algún traumatismo extremo en algún momento de su vida (por ejemplo, se golpean la cabeza con el fondo de la piscina, o reciben el impacto de una bola de béisbol o de una bala), casi siempre en el lado izquierdo del cerebro. Sin embargo, algunos científicos creen que esta distinción es engañosa y que quizá todas las habilidades de los *savants* son aprendidas. Puesto que los *savants* autistas comienzan a exhibir sus capacidades a partir de los tres o los cuatro años, puede que su autismo (como un golpe en la cabeza) sea el origen de estas, aunque no existe consenso entre los científicos al respecto. Algunos creen que estos individuos simplemente nacen así y, por lo tanto, las anomalías son únicas. Sus habilidades, aun cuando sean activadas por una bala, están programadas en su cerebro desde que nacen. De ser así, quizá tales capacidades nunca puedan aprenderse o transferirse.

Otros afirman que eso choca con la evolución, que se produce gradualmente a lo largo de extensos períodos de tiempo. Si existen los genios *savants*, entonces las demás personas también deberíamos poseer habilidades similares, aunque en nosotros estén latentes. ¿Significa esto, entonces, que algún día podremos activar estos milagrosos poderes cuando lo deseemos? Hay quienes creen que sí, e incluso se han publicado artículos científicos cuyos autores afirman que algunas de las capacidades de los *savants* están latentes en todos nosotros y se puede provocar su activación utilizando un escáner electromagnético (TES). O quizá tengan una base genética, en cuyo caso la terapia génica podría recrear estas asombrosas habilidades. También podríamos ser capaces de cultivar células madre que permitiesen que las neuronas creciesen en la corteza prefrontal y en otros centros clave del cerebro. Esa sería una manera de aumentar nuestras capacidades mentales.

Todas estas vías son objeto de intensa especulación e investigación. No solo podrían permitir que los médicos revirtieran los destrozos provocadas por enfermedades como el alzhéimer, sino que también harían posible la mejora de nuestra inteligencia. Las posibilidades son fascinantes.

El primer caso documentado de *savant* lo registró en 1789 el doctor Benjamin Rush, quien estudió a un individuo que aparentemente era deficiente mental pero que, cuando se le preguntaba cuántos segundos había vivido un hombre que tenía setenta años, diecisiete días y doce horas, tardaba solo noventa segundos en dar la respuesta correcta: 2.210.500.800.

El doctor Darold Treffert,[10] un médico de Wisconsin, ha estudiado profundamente a estos *savants*.

Cuenta la historia de un *savant* ciego al que se le planteó una pregunta sencilla: si colocamos un grano de maíz en la primera casilla de un tablero de ajedrez, dos granos en la segunda, cuatro en la siguiente y seguimos doblando el número de granos en cada casilla, ¿cuántos granos habrá en la casilla sexagésimo cuarta? El hombre tardó solo cuarenta y cinco segundos en responder correctamente: «18.446.744.073.709.551.616».[11]

Puede que el ejemplo más conocido de *savant* sea Kim Peek, quien inspiró la película *Rain Man*, protagonizada por Dustin Hoffman y Tom Cruise. Aunque Peek sufría una grave deficiencia mental (era incapaz de vivir solo, y apenas podía atarse los cordones de los zapatos o abrocharse la camisa), memorizó alrededor de doce mil libros y podía recitar, palabra por palabra, frases de cualquiera de sus páginas. Tardaba unos ocho segundos en leer una página. (Podía memorizar un libro en una media hora, y los leía de una manera inusual: era capaz de leer ambas páginas a la vez, una con cada ojo.) Aunque era extraordinariamente tímido, con el tiempo empezó a disfrutar mostrando sus asombrosas habilidades matemáticas a los curiosos, que le desafiaban con preguntas con trampa.

Los científicos, evidentemente, han de ser cuidadosos a la hora de distinguir las verdaderas habilidades de los *savants* de simples trucos de memorización. Sus capacidades no son solo matemáticas, sino también musicales, artísticas y mecánicas. Como los *savants* autistas tienen muchas dificultades para expresar verbalmente sus procesos mentales, otra vía de investigación pasa por estudiar a personas que sufren el síndrome de Asperger, una forma leve de autismo. Hasta 1994 no se reconoció el síndrome de Asperger como un trastorno psicológico distinto, por lo que la investigación sólida en este campo es escasa. Como los individuos autistas, las personas que padecen este síndrome tienen dificultades para interactuar socialmente con los demás. Sin embargo, con el entrenamiento adecuado, pueden aprender las habilidades sociales suficientes para tener un trabajo y articular sus procesos mentales. Y una parte de ellos posee notables habilidades propias de *savants*. Algunos científicos creen que muchos de los grandes científicos padecían el síndrome de Asperger. Esto explicaría la naturaleza extraña y solitaria de físicos como Isaac Newton y Paul Dirac (uno de los fundadores de la teoría cuántica). Newton, en particular, era patológicamente incapaz de mantener una conversación trivial.

Tuve el placer de entrevistar a uno de estos individuos, Daniel Tammet, autor del best seller *Nacido en un día azul*.[12] Tammet es prácticamente el único de entre estos extraordinarios *savants* capaz de articular sus pensamientos en un libro y en entrevistas en la radio y la televisión. Para alguien que experimentó tales dificultades para relacionarse con los demás cuando era niño, ahora posee un dominio notable de las habilidades de comunicación.

Daniel ostenta la distinción de haber establecido el récord mundial de memorización de pi, un número fundamental en geometría. Fue capaz de recordarlo hasta las 22.514 cifras decimales. Le pregunté cómo se había preparado para tan hercúlea hazaña, y me contó que él asocia un color o textura con cada número. Entonces le hice la pregunta clave: si cada dígito tiene un color o textura,

¿cómo recordaba decenas de miles de ellos? Lamentablemente, me dijo que no sabía cómo lo hacía. Le sale de manera natural. Los números han sido su vida desde que era niño, y simplemente aparecen en su mente, que es una mezcla continua de números y colores.

EL SÍNDROME DE ASPERGER Y SILICON VALLEY

Hasta ahora, esta discusión puede resultar abstracta, sin ninguna relación directa con nuestras vidas cotidianas. Pero el efecto de las personas con autismo leve y síndrome de Asperger podría estar más generalizado de lo que antes se pensaba, especialmente en ciertos campos de la alta tecnología.

En la exitosa serie televisiva *The Big Bang Theory*, seguimos las peripecias de varios jóvenes científicos, la mayoría de ellos físicos *nerds*, en su torpe búsqueda de compañía femenina. En cada episodio hay algún divertido incidente que pone de manifiesto lo perdidos que están y lo patéticos que resultan en su tarea.

A lo largo de serie se asume tácitamente que su brillantez intelectual solo está a la altura de su «friquismo». Y, curiosamente, es un hecho conocido que entre los gurús de la alta tecnología que pueblan Silicon Valley el porcentaje de quienes tienen ciertas carencias en lo que se refiere a las habilidad sociales es mayor de lo normal. (Hay un dicho que circula entre las mujeres jóvenes que estudian carreras técnicas en las universidades especializadas en ingenierías, donde la proporción entre chicos y chicas les es claramente favorable: «Hay mucho donde elegir, pero lo que hay es todo muy raro».)

Los científicos tienen intención de investigar estas sospechas. La hipótesis es que las personas con síndrome de Asperger y otras formas leves de autismo poseen habilidades mentales perfectamente adaptadas para ciertos campos, como el sector de las tecnologías de la información. Los científicos del University College de Londres estudiaron a dieciséis personas a las que se les había diagnosticado una variante leve de autismo y los compararon con dieciséis individuos normales. A ambos grupos les mostraron imágenes que contenían números y letras dispuestos aleatoriamente formando patrones cada vez más complejos.

Los resultados demostraron que las personas con autismo poseían una mayor capacidad para concentrarse en la tarea. De hecho, a medida que las tareas se iban complicando, la brecha entre las capacidades intelectuales de ambos grupos se fue abriendo y los sujetos autistas obtuvieron resultados significativamente mejores que los individuos del grupo de control. (El test, no obstante, también demostró que estos individuos se distraían más fácilmente con los ruidos externos o con luces parpadeantes que los componentes del grupo de control.)

La doctora Nilli Lavie opina al respecto: «Nuestro estudio confirma la hipótesis de que las personas con autismo poseen una capacidad perceptiva más desarrollada que la media de la población

[…] Quienes padecen autismo son capaces de percibir una cantidad de información notablemente superior que el adulto promedio».[13]

Lo cual desde luego no demuestra que todas las personas brillantes intelectualmente padezcan alguna forma de síndrome de Asperger, pero sí indica que en los campos en que es necesaria la capacidad de concentrarse intelectualmente puede existir una mayor proporción de personas con este síndrome.

ESCÁNERES CEREBRALES DE *SAVANTS*

El asunto de los *savants* siempre ha estado envuelto en rumores y asombrosas anécdotas. Pero, recientemente, este campo ha vivido toda una revolución desde el desarrollo del escáner de imagen por resonancia magnética y otros escáneres cerebrales.

El cerebro de Kim Peek, por ejemplo, no era normal.[14] Las imágenes de resonancia magnética obtenidas con el escáner mostraban que carecía de cuerpo calloso que conectase los hemisferios izquierdo y derecho; probablemente esa fuera la razón por la que podía leer dos páginas a la vez. Su limitada capacidad motora se reflejaba en la deformación del cerebelo, que controla el equilibrio. Por desgracia, las imágenes del escáner por resonancia magnética no pudieron revelar el origen preciso de sus extraordinarias habilidades y su memoria fotográfica. Pero, en general, los escáneres cerebrales demuestran que muchos de quienes padecen el síndrome del *savant* adquirido han sufrido lesiones en el hemisferio izquierdo del cerebro.

En particular, el interés se ha centrado en la corteza orbitofrontal temporal anterior izquierda. Hay quien cree que las habilidades de todos los *savants* (autistas, sobrevenidos o con síndrome de Asperger) se deben quizá a alguna lesión en este punto tan específico del lóbulo temporal izquierdo. Esta área puede actuar como un «censor» que periódicamente se deshace de los recuerdos irrelevantes. Una vez que se produce la lesión en el hemisferio izquierdo, el derecho comienza a tomar el control. El hemisferio derecho es mucho más preciso que el izquierdo, que a menudo distorsiona la realidad o se la inventa. De hecho, se cree que el hemisferio derecho se ve obligado a hacer un esfuerzo adicional como consecuencia de la lesión en el hemisferio izquierdo, lo que hace que se desarrollen las habilidades propias de los *savants*. Por ejemplo, el hemisferio derecho es mucho más artístico que el izquierdo. Normalmente, el izquierdo restringe ese talento y lo mantiene a raya, pero si este sufre algún tipo de lesión puede dar rienda suelta a las capacidades artísticas latentes en el derecho, lo que resulta en una explosión de talento artístico. Por lo tanto, la clave para que se manifiesten las habilidades propias de los *savants* podría pasar por mitigar el control que ejerce el hemisferio izquierdo para que no pueda limitar los talentos naturales del hemisferio derecho. Es lo que a veces se expresa como «lesión del hemisferio izquierdo, compensación del derecho».

En 1998, el doctor Bruce Miller, de la Universidad de California en San Francisco, llevó a cabo una serie de experimentos que parecían respaldar esta idea.[15] Junto con sus colegas, estudió a cinco individuos normales que comenzaban a mostrar síntomas de demencia frontotemporal (DFT). A medida que esta progresaba, empezaron a aparecer capacidades propias de los *savants*. Cuando la demencia se agravó, varios de los sujetos empezaron a exhibir capacidades artísticas aún más extraordinarias, a pesar de que ninguno de ellos había destacado previamente en ese campo. Es más, estas capacidades eran típicas del comportamiento de los *savants*. Eran habilidades visuales, no auditivas, y sus obras de arte, aunque notables, no eran más que copias carentes de originalidad y de toda cualidad abstracta o simbólica. (El estado de uno de los pacientes mejoró durante el estudio, pero sus incipientes habilidades de *savant* también se redujeron en consecuencia. Esto sugiere la existencia de una estrecha relación entre el desarrollo de trastornos del lóbulo temporal izquierdo y la de habilidades propias de *savants*.)

El análisis del doctor Miller parecía demostrar que la degeneración de las cortezas temporal anterior izquierda y orbitofrontal probablemente había hecho que disminuyese la inhibición de los sistemas visuales en el hemisferio derecho, lo que a su vez provocó el aumento de las capacidades artísticas. De nuevo, una lesión de un punto determinado del hemisferio izquierdo obligó al derecho a tomar el mando y desarrollarse.

Además de los *savants*, también se han obtenido imágenes por resonancia magnética de personas con síndrome hipertiméstico, que también poseen memoria fotográfica.[16] Estas personas no padecen autismo ni trastornos mentales, pero comparten algunas de sus habilidades. En todo Estados Unidos, solo hay cuatro casos documentados de memoria verdaderamente fotográfica. Uno de ellos es Jill Price, directora de un colegio en Los Angeles, que es capaz de recordar con precisión lo que estaba haciendo cualquier día en particular de las últimas décadas. Pero se queja de que le cuesta borrar determinados pensamientos. De hecho, su cerebro parece estar «encasquillado en modo de piloto automático». Explica que tener una memoria como la suya es como ver el mundo a través de una pantalla dividida, en la que el pasado y el presente compiten continuamente por su atención.

Desde el año 2000, los científicos de la Universidad de California en Irvine han escaneado su cerebro y han descubierto que es distinto. Varias regiones son más grandes de lo normal, como el núcleo caudado (relacionado con el desarrollo de hábitos) y el lóbulo temporal (donde se almacenan hechos y cifras). Se cree que estas dos áreas trabajan al unísono para crear su memoria fotográfica. Su cerebro, por lo tanto, es diferente del de los *savants* que sufren una lesión o daños en el lóbulo temporal izquierdo. La razón se desconoce, pero indica que existe otra manera para obtener estas fantásticas habilidades mentales.

¿PODEMOS CONVERTIRNOS EN *SAVANTS*?

Todo esto suscita la fascinante posibilidad de desactivar deliberadamente partes del hemisferio izquierdo provocando así un aumento de la actividad del derecho, forzándolo a adquirir habilidades de *savant*.

Recordemos que la estimulación magnética transcraneal (EMT) permite silenciar efectivamente partes del cerebro. Entonces, ¿por qué no podemos silenciar esta parte de la corteza orbitofrontal temporal anterior izquierda mediante estimulación magnética transcraneal y activar cuando lo deseemos un genio propio de *savants*?

De hecho, es algo que se ha intentado llevar a la práctica.[17] El doctor Allan Snyder, de la Universidad de Sidney (Australia), saltó a las noticias hace unos años cuando afirmó que, si aplicaba estimulación magnética transcraneal sobre determinada parte del hemisferio izquierdo de sus pacientes, estos eran capaces súbitamente de proezas propias de *savants*. Haciendo incidir ondas magnéticas de baja frecuencia sobre el hemisferio izquierdo, en principio es posible desactivar esta región dominante del cerebro y permitir que el hemisferio derecho tome el control. El doctor Snyder y sus colegas llevaron a cabo un experimento con once voluntarios varones. Aplicaron estimulación magnética transcraneal a su región frontotemporal izquierda mientras los sujetos realizaban pruebas que implicaban leer y dibujar. Esto no provocó la aparición de habilidades propias de *savants* entre ellos, pero dos sí experimentaron importantes mejoras en su capacidad de encontrar los errores y las palabras repetidas en un texto. En otro experimento,[18] el doctor R. L. Young y sus colegas sometieron a un grupo de diecisiete individuos a una batería de test psicológicos diseñados específicamente para detectar habilidades características de los *savants*. (Los test de este tipo analizan la capacidad de una persona para memorizar hechos, manipular números y fechas, crear obras de arte o interpretar música.) Cinco de los sujetos dieron cuenta de un incremento de las capacidades propias de *savants* tras el tratamiento con estimulación magnética transcraneal.

El doctor Michael Sweeney comenta: «Cuando se aplica sobre los lóbulos prefrontales, se ha visto que la estimulación magnética transcraneal mejora la velocidad y la agilidad del procesamiento cognitivo. Las ráfagas de estimulación magnética transcraneal son como inyecciones localizadas de cafeína, pero nadie sabe a ciencia cierta cuál es el proceso que los imanes desencadenan».[19] Estos experimentos indican, aunque en absoluto demuestran, que silenciar una parte de la región frontotemporal izquierda puede potenciar algunas capacidades. Pero estas capacidades distan de ser habilidades propias de *savants*, y debemos dejar claro que otros grupos han analizado estos experimentos, sin obtener resultados concluyentes. Aún es demasiado pronto para emitir un juicio definitivo, son necesarios más experimentos.

Las sondas de estimulación magnética transcraneal son el instrumento más sencillo y práctico para alcanzar este objetivo, ya que pueden silenciar selectivamente distintas partes del cerebro sin necesidad de recurrir a lesiones cerebrales o a accidentes traumáticos. Pero conviene señalar que

estas sondas son aún rudimentarias y silencian millones de neuronas al mismo tiempo. Los campos magnéticos, a diferencia de las sondas eléctricas, no son precisos, sino que se extienden varios centímetros. Sabemos que, en los *savants*, la corteza orbitofrontal temporal anterior izquierda está dañada, y es probablemente la responsable, al menos en parte, de sus habilidades únicas, pero quizá la zona específica que haya que desactivar sea una subregión aún más pequeña. Cada descarga de estimulación magnética transcraneal podría desactivar, sin pretenderlo, algunas zonas que deberían permanecer intactas para producir las habilidades características de los *savants*.

En el futuro, las sondas de estimulación magnética transcraneal podrían permitir localizar con más precisión el área del cerebro que interviene en la aparición de estas habilidades. Una vez que dicha área se identifica, el siguiente paso consistirá en utilizar sondas eléctricas más precisas, como las que se emplean en la estimulación cerebral profunda, para atenuar la actividad de esas zonas con mayor precisión. Entonces, con solo pulsar un botón, sería posible utilizar estas sondas para silenciar esa pequeña área del cerebro y activar las habilidades de los *savants*.

OLVIDANDO A OLVIDAR Y LA MEMORIA FOTOGRÁFICA

Aunque estas habilidades pueden surgir tras algún tipo de lesión en el hemisferio izquierdo (que provoque la compensación por parte del derecho), esto sigue sin explicar en detalle cómo puede el hemisferio derecho consumar esas milagrosas proezas de memoria. ¿Mediante qué mecanismo neuronal surge la memoria fotográfica? La respuesta a esta pregunta podría determinar si llegaremos a ser *savants* o no.

Hasta hace poco se pensaba que la memoria fotográfica se debía a la capacidad especial de ciertos cerebros para recordar.[20] De ser así, sería difícil para una persona normal adquirir estas habilidades memorísticas, ya que esto solo estaría al alcance de algunos cerebros excepcionales. Pero, en 2012, un nuevo estudio demostró que la verdad podría ser precisamente la contraria.

La clave para la memoria fotográfica podría estar, no en la capacidad de algunos cerebros extraordinarios para no olvidar, sino en la pérdida de la capacidad de olvidar. Si esto es así, quizá la memoria fotográfica no sea algo tan misterioso.

Este nuevo estudio fue obra de los científicos del Instituto de Investigación Scripps, en Florida, que trabajaban con moscas de la fruta. Descubrieron la curiosa manera que estos insectos tienen para aprender, que podría dar un vuelco a la asentada idea sobre cómo se crean y se olvidan los recuerdos. Las moscas de la fruta estuvieron expuestas a diferentes olores, y se les aplicó un refuerzo positivo (con comida) o negativo (con descargas eléctricas).

Los científicos ya sabían que la dopamina, un neurotransmisor, era importante en la creación de los recuerdos. Para su sorpresa, descubrieron que la dopamina regula activamente tanto la formación

como el olvido de nuevos recuerdos. En el proceso de creación de nuevos recuerdos se activa el receptor dCA1. Por su parte, el olvido se desencadena mediante la activación del receptor DAMB.

Anteriormente se creía que el olvido consistía simplemente en la degradación de los recuerdos con el tiempo, algo que sucede por sí solo de manera pasiva. Este nuevo estudio demuestra que el olvido es un proceso activo, que requiere la intervención de la dopamina.

Para demostrarlo, vieron que, si interferían con la acción de los receptores dCA1 y DAMB, podía aumentar o disminuir la capacidad de las moscas de la fruta para olvidar y recordar. Por ejemplo, una mutación del receptor dCA1 reducía la capacidad de las moscas para recordar. Mientras que una mutación del receptor DAMB hacía lo propio con la capacidad para olvidar.

Los investigadores creen que este efecto, a su vez, puede ser parcialmente responsable de las habilidades de los *savants*. Según Jacob Berry, uno de los estudiantes de doctorado que participaron en el estudio: «Los *savants* poseen una gran capacidad de memorizar. Pero quizá no sea la memoria la que les proporciona esta capacidad, tal vez tengan un mal mecanismo para olvidar. Esta podría ser también la estrategia para desarrollar drogas que estimulen el conocimiento y la memoria. ¿Y si para mejorar el conocimiento usásemos drogas que inhiban el olvido?».[21]

Si los resultados se confirman también en experimentos con humanos, esto espolearía a los científicos a desarrollar nuevas drogas y neurotransmisores capaces de atenuar el proceso del olvido. Se podría entonces activar selectivamente la memoria fotográfica cuando se necesitase, neutralizando el proceso del olvido. De esta manera, no tendríamos la sobrecarga continua de información superflua e inútil que dificulta el pensamiento a las personas con síndrome de *savant*.

También resulta emocionante la posibilidad de que el proyecto BRAIN, que promueve el gobierno de Obama, sea capaz de identificar las vías específicas relacionadas con el síndrome del *savant* adquirido. Los campos magnéticos transcraneales son aún demasiado rudimentarios para localizar con precisión el pequeño grupo de neuronas en cuestión. Pero mediante el uso de nanosondas y de las tecnologías de escáner más avanzadas, el proyecto BRAIN podría aislar con precisión las vías nerviosas que hacen posible la memoria fotográfica y otras increíbles habilidades computacionales, artísticas y musicales. Se van a dedicar miles de millones de dólares a la identificación de las vías nerviosas específicas que intervienen en los trastornos mentales y en otras afecciones cerebrales, lo que podría ayudar a desentrañar el secreto de las habilidades de los *savants*. Entonces, quizá sería posible convertir a individuos normales en *savants*. Esto es algo que ha sucedido muchas veces en el pasado, como consecuencia de accidentes casuales; en el futuro podría llegar a ser un proceso médico preciso. El tiempo lo dirá.

Hasta ahora, los métodos que hemos analizado aquí no alteran la naturaleza del cerebro o del cuerpo. Mediante el uso de campos magnéticos, esperamos poder desencadenar el potencial que ya existe latente en el cerebro. La filosofía que subyace bajo esta idea es que todos somos *savants* en potencia. Bastaría con una ligera modificación de nuestros circuitos neuronales para dar rienda suelta

a este talento oculto.

Otra estrategia consiste en alterar directamente el cerebro y los genes, utilizando lo último en ciencia del cerebro y también en genética. Un método prometedor hace uso de las células madre.

CÉLULAS MADRE PARA EL CEREBRO

Durante muchas décadas se mantuvo el dogma de que las células del cerebro no se regeneran. Parecía imposible reparar células antiguas y moribundas, o hacer crecer otras nuevas para potenciar nuestras capacidades. Pero todo eso cambió en 1998, cuando se descubrió que se podían encontrar células madre adultas tanto en el hipocampo como en el bulbo olfatorio y en el núcleo caudado. En pocas palabras, las células madre son «la madre de todas las células». Las células madre embrionarias, por ejemplo, pueden convertirse fácilmente en cualquier otro tipo de célula. Aunque cada una de nuestras células contiene todo el material genético necesario para construir un ser humano, solo las células madre embrionarias poseen la capacidad de dar lugar a cualquier célula del cuerpo.

Las células madre adultas han perdido esa capacidad camaleónica, pero aún pueden reproducirse y sustituir a las células viejas y moribundas. Por lo que se refiere a la mejora de la memoria, el interés se ha centrado en las células madre adultas en el hipocampo. Resulta que cada día nacen de manera natural miles de células nuevas en el hipocampo, pero la mayoría muere al poco tiempo. No obstante, se ha demostrado que las ratas que aprenden nuevas tareas conservan una proporción mayor de esas células nuevas. Una combinación de ejercicio y compuestos químicos para elevar el estado de ánimo también puede mejorar la tasa de supervivencia de células nuevas en el hipocampo. El estrés, por el contrario, acelera la muerte de estas nuevas neuronas.

En 2007 se produjo un avance importante cuando científicos en Wisconsin y en Japón lograron partir de células normales de la piel humana, reprogramar sus genes y convertirlas en células madre.[22] Nuestra esperanza es que estas células madre, ya sean de origen natural u obtenidas mediante ingeniería genética, algún día puedan ser inyectadas en el cerebro de los pacientes con alzhéimer para sustituir a las células que mueren. (Estas nuevas células, puesto que aún no han establecido las conexiones adecuadas, no están integradas en la arquitectura neuronal del cerebro, lo que significa que la persona tendría que volver a aprender ciertas habilidades para incorporar estas neuronas recién recibidas.)

La investigación con células madres es, naturalmente, una de las áreas más activas de la investigación del cerebro.[23] «La investigación con células madre y la medicina regenerativa se encuentran actualmente en una fase muy emocionante. Estamos acumulando conocimiento a toda velocidad y se están creando muchas empresas, que están empezando a realizar ensayos clínicos en distintas áreas», comenta el sueco Jonas Frisén, del Instituto Karolinska.

GENÉTICA DE LA INTELIGENCIA

Aparte de las células madres, otra vía de exploración pasa por aislar los genes responsables de la inteligencia humana. Los biólogos señalan que, genéticamente, somos idénticos a los chimpancés en un 98,5 por ciento, a pesar de lo cual vivimos el doble de tiempo y, a lo largo de los últimos seis millones de años, hemos experimentado un estallido de nuestra capacidad intelectual. Por lo anterior, entre los genes que nos diferencian deben estar los responsables de que tengamos un cerebro humano. En pocos años los científicos dispondrán de un mapa completo de todas estas diferencias genéticas. El secreto de la longevidad y de la mejora de la inteligencia podría encontrarse en ese reducido conjunto de genes. Los científicos se han centrado en unos pocos genes que, posiblemente, fueron los impulsores de la evolución del cerebro humano.[24]

Así pues, la clave que nos revelará el secreto de la inteligencia quizá esté en el estudio de nuestros antepasados primates. Esto suscita otra pregunta: ¿podría esta investigación hacer posible *El planeta de los simios*?

En esa serie de películas, una guerra nuclear destruye nuestra civilización moderna. La humanidad se ve reducida a la barbarie, pero la radiación acelera de alguna manera la evolución de los demás primates, que se convierten en la especie dominante del planeta. Crean una civilización avanzada, mientras los humanos viven como salvajes desaliñados y malolientes que vagan medio desnudos por los bosques. Como mucho, los humanos se convierten en animales de zoológico. Las tornas han cambiado, y ahora son los simios los que nos observan desde el exterior de nuestras jaulas.

En la última entrega, *El origen del planeta de los simios*, los científicos buscan una cura para el alzhéimer. En el camino se topan con un virus que tiene el efecto inesperado de incrementar la inteligencia de los chimpancés. Lamentablemente, uno de estos simios mejorados recibe un trato cruel cuando es internado en un refugio para primates. Usando su inteligencia aumentada, el simio se escapa, infecta a los demás animales de laboratorio con el virus para aumentar su inteligencia y los libera a todos de sus jaulas. Enseguida, una caravana de simios inteligentes y vociferantes campa a sus anchas en el puente Golden Gate, desbordando por completo a la policía local y estatal. Tras un terrible y espectacular enfrentamiento con las autoridades, la película termina cuando los simios encuentran refugio en un bosque de secuoyas al norte del puente.

¿Es realista ese escenario? A corto plazo no, pero no se puede descartar en el futuro, ya que los científicos deberían ser capaces de catalogar en los próximos años todos los cambios genéticos que dieron lugar al *Homo sapiens*. Pero aún quedan muchos misterios por resolver antes de que tengamos simios inteligentes.

Una científica fascinada no por la ciencia ficción, sino por la genética que nos hace humanos, es la

doctora Katherine Pollard, experta en un campo llamado «bioinformática», que hace diez años apenas existía. Esta rama de la biología, en lugar de diseccionar animales para entender cómo están formados, utiliza la enorme potencia de los ordenadores para analizar matemáticamente los genes que hay en sus cuerpos. Pollard ha sido pionera a la hora de encontrar los genes que definen la esencia de lo que nos distingue de los simios. En 2003, recién obtenido su doctorado por la Universidad de California en Berkeley, tuvo su oportunidad.

«Aproveché la oportunidad de incorporarme al equipo que estaba identificando la secuencia de bases del ADN en el genoma del chimpancé común»,[25] recuerda. Su objetivo estaba claro. Sabía que solo quince millones, de los más de tres mil millones pares de bases, o «letras», que componen nuestro genoma, nos separan de los chimpancés, nuestro vecino más cercano genéticamente. (Cada «letra» de nuestro código genético se refiere a un ácido nucleico, de los que hay cuatro, identificados como A, T, C y G. Por lo que nuestro genoma consta de tres mil millones de letras dispuestas así: ATTCCAGGG…)

«Estaba decidida a encontrarlas», escribió Pollard.

Aislar esos genes podría tener repercusiones enormes en el futuro. Una vez que sepamos cuáles son los genes que dieron lugar al *Homo sapiens*, será posible determinar cómo evolucionaron los humanos. El secreto de la inteligencia podría encontrarse en estos genes. Entonces sería posible acelerar el paso de la evolución, e incluso mejorar nuestra inteligencia. Pero quince millones de pares de bases es un número enorme para analizar. ¿Cómo podríamos encontrar un puñado de agujas en este pajar genético?

La doctora Pollard sabía que la mayor parte de nuestro genoma está compuesto por «ADN basura» que no contiene ningún gen y permaneció en buena medida inalterado por la evolución. Este ADN basura muta lentamente a un ritmo conocido (aproximadamente un 1 por ciento cambia a lo largo de cuatro millones de años). Puesto que la diferencia entre humanos y chimpancés es del 1,5 por ciento del ADN, eso significa que probablemente nos separamos de ellos hace unos seis millones de años. Así que existe un «reloj molecular» en cada una de nuestras células. Y puesto que la evolución acelera el ritmo de estas mutaciones, si analizamos dónde se produjo esta aceleración podremos saber qué genes son los impulsores de la evolución.

La doctora Pollard pensó que, si conseguía escribir un programa informático para encontrar en qué puntos del genoma se habían producido la mayoría de estos cambios acelerados, podría aislar con precisión los genes que dieron a luz al *Homo sapiens*. Tras meses de duro trabajo y depuración, por fin pudo ejecutar su programa en unos ordenadores gigantes situados en la Universidad de California en Santa Cruz. Impaciente, esperó los resultados.

Cuando por fin llegaron, encontró lo que buscaba: hay doscientas una regiones de nuestro genoma que muestran una variación acelerada. Pero lo que llamó su atención fue la primera de esta lista de zonas. «Tenía a mi mentor, David Haussler, mirando por encima de mi hombro, cuando me fijé en el

principio de la lista, una sucesión de ciento dieciocho bases que, juntas, se han hecho conocidas como la región humana acelerada 1 (HAR1)»,[26] recuerda.

Estaba eufórica. ¡Bingo!

«Nos había tocado la lotería», escribió. Era un sueño hecho realidad.

Tenía la mirada fija en un área del genoma que contiene solo ciento dieciocho pares de bases, con la mayor divergencia de mutaciones que nos separan de los simios. De estas bases, solo dieciocho mutaciones se han alterado desde que somos humanos. Su extraordinario descubrimiento demostró que un pequeño conjunto de mutaciones podía ser el responsable de sacarnos del pantano de nuestro pasado genético.

A continuación, junto con sus colegas, Pollard trató de descifrar la naturaleza precisa de esta misteriosa concentración llamada HAR1. Descubrieron que la HAR1 había sido notablemente estable durante millones de años de evolución. Los primates se separaron de las aves hace unos trescientos millones de años, a pesar de lo cual solo dos parejas de bases difieren entre los chimpancés y las gallinas. De manera que la HAR1 había permanecido prácticamente inalterada durante varios cientos de millones de años, con solo dos cambios, en las letras G y C. Y sin embargo, en solo seis millones de años, la HAR1 había mutado dieciocho veces, lo que daba cuenta de una enorme aceleración de nuestra evolución.

Pero lo que resulta fascinante es el papel que la HAR1 desempeñó a la hora de establecer la disposición general de la corteza cerebral, famosa por su aspecto arrugado. Un defecto en la región HAR1 provoca un trastorno conocido como «lisencefalia» o «cerebro liso», que hace que la corteza se pliegue de manera incorrecta. (Los defectos en esta zona también están vinculados con la esquizofrenia.) Aparte del gran tamaño de nuestra corteza cerebral, una de sus características principales es que está muy arrugada y enrevesada, lo que aumenta en gran medida el área de su superficie, y con ella su potencia de computación. El trabajo de la doctora Pollard demostró que una alteración de tan solo dieciocho letras de nuestro genoma era parcialmente responsable de uno de los mayores y más definitorios cambios genéticos en la historia de la humanidad, que permitió un enorme incremento de nuestra inteligencia. (Recordemos que el cerebro de Carl Friedrich Gauss, uno de los más grandes matemáticos de la historia, que se preservó tras su muerte, exhibía unas arrugas inusuales.)

La lista de la doctora Pollard iba aún más lejos e identificaba varios cientos de áreas más que también mostraban un cambio acelerado, algunas de las cuales ya se conocían. La FOX2, por ejemplo, es fundamental para el desarrollo del habla, otra característica esencial de los humanos. (Los individuos que poseen un gen FOX2 defectuoso tienen dificultades para realizar los movimientos faciales necesarios para el habla.) Otra región, denominada HAR2, nos proporciona la destreza en los dedos necesaria para manipular herramientas delicadas.

Además, puesto que se ha secuenciado el genoma de los neandertales, es posible comparar nuestra

composición genética con una especie aún más próxima a la nuestra que los chimpancés. (Cuando analizaron el gen FOX2 en los neandertales, los científicos vieron que compartíamos el mismo gen, lo que significa que es posible que los neandertales fuesen capaces de vocalizar y pronunciar palabras, como nosotros.)

Otro gen crucial es el llamado ASPM, del cual se cree es responsable del extraordinario crecimiento de nuestra capacidad cerebral. Algunos científicos opinan que este y otros genes podrían revelar por qué los humanos llegaron a ser inteligentes, pero los simios no. (Las personas que poseen una versión defectuosa del gen ASPM con frecuencia padecen microcefalia, una forma grave de retraso mental, porque tienen un cráneo muy pequeño, aproximadamente del tamaño del de uno de nuestros antepasados, el Australopithecus.)

Los científicos han seguido el rastro de las mutaciones en el gen ASPM y han visto que ha mutado alrededor de quince veces en los últimos cinco o seis millones de años, desde que nos separamos de los chimpancés. Las mutaciones más recientes de estos genes parece que guardan relación con varios hitos de nuestra evolución. Por ejemplo, una mutación se produjo hace más de cien mil años, cuando los humanos modernos salieron de África, con una apariencia indistinguible de la nuestra. Y la última mutación, hace cinco mil ochocientos años, coincide con la aparición del lenguaje escrito y la agricultura.

Como estas mutaciones coinciden con períodos de rápido crecimiento intelectual, es tentador suponer que el ASPM está entre el reducido grupo de genes responsables de nuestra inteligencia superior. Si es así, quizá podamos determinar si estos genes siguen activos y también si continuarán definiendo la dirección de la evolución humana en el futuro.

Todas estas investigaciones nos llevan a preguntarnos: ¿podríamos aumentar nuestra inteligencia manipulando un pequeño conjunto de genes? Posiblemente.

Los científicos están identificando el mecanismo preciso por el que estos genes dan lugar a la inteligencia. En particular, regiones genéticas y genes como la HAR1 y el ASPM podrían ayudar a resolver un misterio que envuelve al cerebro. Si nuestro genoma contiene aproximadamente veintitrés mil genes, ¿cómo pueden controlar las conexiones existentes entre los cien mil millones de neuronas, un total de mil billones de conexiones (un uno seguido de quince ceros)? Parece matemáticamente imposible. El genoma humano es demasiado pequeño, aproximadamente un billón de veces, para codificar todas nuestras conexiones neuronales. Así pues, nuestra propia existencia parece un imposible matemático.

La respuesta podría ser que la naturaleza toma numerosos atajos a la hora de crear el cerebro. Primero, muchas neuronas están conectadas de manera aleatoria, por lo que un plano detallado no es necesario. Eso significa que dichas regiones conectadas de forma aleatoria se organizan una vez que el bebé ha nacido y comienza a interactuar con el entorno.

Y, segundo, la naturaleza también utiliza módulos que se repiten una y otra vez. Una vez que

descubre algo útil, lo repite a menudo. Esto podría explicar por qué solo unos pocos de los cambios genéticos son responsables de la mayor parte del espectacular crecimiento de nuestra inteligencia en los últimos seis millones de años.

Así que, en este caso, el tamaño sí importa. Si modificásemos el ASPM y otros pocos genes, el cerebro podría hacerse más grande y complejo, lo que permitiría que se incrementase nuestra inteligencia. (No basta con que aumente el tamaño del cerebro, ya que también es fundamental cómo esté organizado. Pero incrementar el volumen de materia gris es una condición necesaria para aumentar nuestra inteligencia.)

SIMIOS, GENES Y GENIOS

La investigación de la doctora Pollard se centró en regiones de nuestros genes que compartimos con los chimpancés pero que han sufrido mutaciones. También es posible que hayan zonas de nuestro genoma que solo existan en los humanos y no en los simios. Recientemente, en noviembre de 2012, se descubrió uno de estos genes.[27] Un equipo de científicos de la Universidad de Edimburgo aislaron el gen RIM-941, el único gen que ha sido descubierto únicamente en el *Homo sapiens* y no en otros primates. Además, los genetistas pueden demostrar que el gen apareció entre uno y seis millones de años atrás (después de que los humanos y los chimpancés se separasen hace unos seis millones de años).

Por desgracia, este descubrimiento desató una enorme controversia en la blogosfera científica y por internet circularon titulares engañosos. Enseguida aparecieron artículos cuyos autores afirmaban que los científicos habían encontrado un gen capaz, en principio, de volver inteligentes a los chimpancés. «Por fin se ha aislado a nivel genético la esencia de lo humano», exclamaban los titulares.

Varios científicos respetados intervinieron enseguida para tratar de rebajar la tensión. Con toda probabilidad, los responsables de la inteligencia humana son un grupo de genes, que actúan conjuntamente de una manera compleja. Ningún gen por sí solo puede hacer que un chimpancé adquiera súbitamente una inteligencia humana, dijeron.

Aunque los titulares eran muy exagerados, dieron pie a una pregunta seria: ¿hasta qué punto es realista *El planeta de los simios?*

Hay todo un conjunto de complicaciones. Si los genes HAR1 y ASPM se modifican hasta conseguir aumentar el tamaño y la complejidad del cerebro del chimpancé, entonces también habría que modificar varios genes más. Primero, habría que fortalecer los músculos del cuello y aumentar el tamaño corporal para soportar una cabeza más grande. Pero, un cerebro grande sería inútil a menos que pudiese controlar unos dedos capaces de utilizar herramientas, de manera que también habría que

alterar el gen HAR2 para incrementar la destreza. Además, puesto que los chimpancés suelen caminar apoyando las manos, habría que modificar otro gen para enderezar la columna vertebral, lo que les permitiría caminar erguidos y liberar las manos.

La inteligencia también sería inútil a menos que los chimpancés pudiesen comunicarse con otros individuos de su especie, así que habría que conseguir que el gen FOX2 mutase para hacer posible un habla similar a la humana. Y, por último, si queremos crear una especie de simios inteligentes, habría que modificar genéticamente el canal del parto, ya que no tiene el tamaño suficiente para permitir el paso de un cráneo grande o bien sería necesario realizar una cesárea para extraer el feto.

Tras todos estos ajustes genéticos, tendríamos una criatura muy similar a nosotros. En otras palabras, podría ser anatómicamente imposible crear simios inteligentes, como en las películas, sin que se transformasen en algo muy parecido a los seres humanos.

Es evidente, pues, que crear simios inteligentes no es una tarea sencilla. Los que vemos en las películas de Hollywood son en realidad humanos disfrazados de monos o bien gráficos generados por ordenador, lo que permite dejar todos estos asuntos sin resolver. Si los científicos pudiesen utilizar realmente la terapia génica para crear simios inteligentes, se parecerían mucho a nosotros, con manos capaces de utilizar herramientas, con cuerdas vocales capaces de pronunciar palabras, con una columna vertebral que les permitiría caminar erguidos y con potentes músculos en el cuello para soportar una cabeza grande, como los que tenemos nosotros.

Todo esto también plantea cuestiones éticas. Aunque la sociedad permita el estudio genético de los simios, podría no tolerar la manipulación de criaturas inteligentes que pueden sentir dolor y angustia. A fin de cuentas, estas criaturas tendrían una inteligencia suficiente para quejarse de su situación y de su suerte, y sus opiniones serían escuchadas por la sociedad.

Este campo de la bioética es tan reciente que está completamente por explorar. La tecnología aún no está preparada, pero en las próximas décadas, a medida que identifiquemos todos los genes que nos separan de los simios y cuáles son sus funciones, el tratamiento de estos animales mejorados será un asunto crucial.

Vemos, pues, que es solo cuestión de tiempo que se secuencien, se analicen detalladamente y se interpreten todas las pequeñas diferencias genéticas entre nosotros y los chimpancés. Pero esto aún no explica una cuestión más profunda: ¿cuáles fueron las fuerzas evolutivas que esta herencia genética nos proporcionó tras nuestra separación de los simios?; ¿por qué se desarrollaron genes como ASPM, HAR1 y FOX2? Dicho de otro modo, la genética nos permite entender cómo llegamos a ser inteligentes, pero no nos explica por qué sucedió.

Si llegamos a entenderlo, tendríamos indicios sobre nuestra evolución en el futuro. Lo cual nos conduce al núcleo de un debate que sigue abierto: ¿cuál es el origen de la inteligencia?

EL ORIGEN DE LA INTELIGENCIA

Empezando por la del propio Charles Darwin, se han propuesto muchas teorías para explicar por qué los humanos desarrollamos una mayor inteligencia.[28]

Según una de ellas, la evolución del cerebro humano se produjo probablemente en sucesivos estadios. La primera fase la desencadenó el cambio climático en África: cuando el clima se enfrió, los bosques empezaron a retroceder, lo que forzó a nuestros antepasados a trasladarse a las llanuras abiertas y a las sabanas, donde estaban expuestos a los depredadores y a los elementos. Para sobrevivir en este nuevo entorno hostil, se vieron obligados a cazar y a caminar erguidos, lo que dejó libres sus manos con pulgares oponibles para poder utilizar herramientas. Esto a su vez hizo que fuese aún más necesario tener un cerebro más grande, capaz de coordinar la fabricación de herramientas. Según esta teoría, no es solo que el hombre del pasado crease herramientas, sino que las herramientas lo crearon a él.

Nuestros antepasados no empezaron a usar herramientas y se volvieron inteligentes de la noche a la mañana. Fue al revés. Los humanos que empezaron a utilizar herramientas consiguieron sobrevivir en las praderas, mientras que aquellos que no lo hicieron fueron desapareciendo progresivamente. Los humanos que después sobrevivieron y progresaron en las praderas fueron aquellos que, a través de mutaciones, fueron adquiriendo una habilidad cada vez mayor para la fabricación de herramientas, lo que requería un cerebro cada vez más grande.

Según otra teoría, lo que prima es nuestra naturaleza social y colectiva. Los humanos tienen facilidad para coordinar las tareas de caza, agricultura, lucha y construcción entre más de cien individuos, en grupos mucho más grandes que los de otros primates, lo que les proporcionó una ventaja frente a los demás animales. De acuerdo con esta teoría, es necesario un cerebro más grande para poder evaluar y controlar el comportamiento de tantos individuos. (El reverso de esta teoría es que también era necesario un cerebro más grande para maquinar, conspirar, engañar y manipular a otros individuos inteligentes de la tribu. Los individuos que podían entender las motivaciones de los demás y sacar provecho de ellas tendrían una ventaja sobre el resto. Esta es la teoría maquiavélica de la inteligencia.)

Otra teoría sostiene que el desarrollo del lenguaje, que llegó más tarde, contribuyó a acelerar el aumento de la inteligencia. Con el lenguaje llegó también el pensamiento abstracto y la capacidad para planificar, organizar la sociedad, trazar mapas, etcétera. Los humanos poseen un amplio vocabulario, que supera al de cualquier otro animal: una persona corriente conoce decenas de miles de palabras. Con el lenguaje, los humanos podían coordinarse y dirigir las actividades de grandes grupos de individuos, así como manejar conceptos e ideas abstractas. El lenguaje permitía la coordinación de grupos para ir de caza, lo cual es una gran ventaja cuando de lo que se trata es de abatir un mamut lanudo, y también indicar a los demás dónde era abundante la caza o dónde acechaba

el peligro.

Otra teoría más es la de la «selección sexual», según la cual las hembras prefieren emparejarse con machos inteligentes. En el reino animal, por ejemplo en una manada de lobos, el macho alfa mantiene unido al grupo mediante la fuerza bruta. Cualquier aspirante a ocupar su lugar debe ser claramente derrotado a dentelladas y zarpazos. Pero, hace millones de años, a medida que fue aumentando la inteligencia de los humanos, la fuerza dejó de ser suficiente para mantener la tribu unida. Cualquiera con astucia e inteligencia podía tender una emboscada, mentir, traicionar o crear facciones dentro de la tribu para derrocar al macho alfa. Por lo tanto, la siguiente generación de machos alfa no estaría formada necesariamente por los individuos más fuertes. Con el tiempo, el líder sería el más inteligente y astuto. Esta es probablemente la razón por la que las hembras eligen a machos inteligentes (no necesariamente *nerds*, sino inteligentes como lo es un *quarterback*). La selección sexual a su vez aceleró nuestra evolución para desarrollar la inteligencia. De manera que el motor que impulsó el crecimiento de nuestro cerebro fueron las mujeres que elegían a hombres que pudiesen idear estrategias, liderar a la tribu y ser más listos que los otros machos, para lo cual es necesario un cerebro grande.

Estas son solo unas pocas de las teorías sobre el origen de la inteligencia. Cada una tiene sus ventajas y sus inconvenientes. La idea común parece que es la capacidad de simular el futuro. Por ejemplo, el objetivo del líder es elegir el rumbo correcto para la tribu en el futuro, lo cual implica que tiene que entender las intenciones de los demás para poder planificar su estrategia. De ahí que, quizá, la capacidad de simular el futuro fuese una de las fuerzas impulsoras del desarrollo de un cerebro grande y de la inteligencia. Y la persona que mejor simula el futuro es aquella capaz de conspirar, maquinar y leer la mente de muchos de los miembros de su tribu, para así derrotarlos.

Análogamente, el lenguaje nos permite simular el futuro. Los animales poseen un lenguaje rudimentario, pero el único tiempo que manejan es el presente. Su lenguaje les permite avisar de una amenaza inminente, como la presencia de un depredador que se esconde entre los árboles, pero, al parecer, en el lenguaje animal no existen ni el pasado ni el futuro. Los animales no conjugan sus verbos. Así pues, quizá la capacidad de expresar el tiempo pasado y el futuro fuera el avance crucial en el desarrollo de la inteligencia.

El doctor Daniel Gilbert, psicólogo en Harvard, escribe: «Durante los primeros cientos de millones de años tras su aparición en el planeta, nuestros cerebros permanecieron atrapados en un presente permanente y la mayoría de ellos aún lo están hoy. Pero no así el tuyo o el mío, porque hace dos o tres millones de años nuestros antepasados comenzaron una gran huida del aquí y el ahora…».[29]

EL FUTURO DE LA EVOLUCIÓN

Hasta ahora hemos visto que existen resultados sugerentes que indican que se puede aumentar la memoria y la inteligencia, en gran medida mejorando la eficiencia del cerebro y maximizando su capacidad natural. Se están estudiando diversos métodos, como ciertas drogas o dispositivos (la estimulación magnética transcraneal es un ejemplo) que podrían incrementar las capacidades de nuestras neuronas.

La idea de alterar el tamaño y la capacidad del cerebro de los simios es una clara posibilidad, aunque no será fácil. Aún tendrán que pasar varias décadas para que sea factible la terapia génica a esta escala. Pero esto da pie a otra pregunta difícil: ¿hasta dónde puede llegar todo esto?; ¿podemos ampliar ilimitadamente la inteligencia de otro organismo?; ¿o existe un límite para la modificación cerebral impuesto por las leyes de la física?

Sorprendentemente, la respuesta es afirmativa. Las leyes de la física imponen un límite superior a lo que se puede hacer con la modificación genética del cerebro humano, dadas ciertas limitaciones. Para determinar cuál es ese límite, resulta instructivo analizar primero si la evolución sigue haciendo que aumente la inteligencia humana y, en su caso, qué se puede hacer para acelerar este proceso natural.

En la cultura popular existe la idea de que, en el futuro, la evolución hará que los seres humanos tengan el cerebro grande y el cuerpo pequeño y carente de vello. Los alienígenas del espacio, que se supone que poseen un nivel de inteligencia superior, también se representan normalmente así. Si entramos en cualquier tienda de disfraces, veremos el mismo rostro extraterrestre, con grandes ojos saltones, una cabeza enorme y la piel verde.

En realidad hay indicios de que la evolución humana a gran escala (es decir, la forma básica de nuestro cuerpo y nuestra inteligencia) prácticamente se ha detenido. Son varias las razones: en primer lugar, puesto que somos mamíferos bípedos que caminamos erguidos, existe un límite al tamaño máximo del cráneo de un recién nacido para que pueda salir a través del canal del parto; en segundo lugar, las tecnologías modernas han eliminado muchas de las duras presiones evolutivas a las que se enfrentaron nuestros antepasados.

Sin embargo, la evolución a escala genética y molecular sigue su curso. Aunque es difícil de observar a simple vista, existen evidencias de que la bioquímica humana ha cambiado para adaptarse a las dificultades de nuestro entorno, por ejemplo para combatir la malaria en zonas tropicales. Por otra parte, los humanos hemos desarrollado recientemente enzimas para digerir la lactosa, una vez que aprendimos a domesticar a las vacas y empezamos a beber su leche. Se han producido mutaciones a medida que nos adaptábamos a una dieta surgida de la revolución agrícola. Además, la gente sigue prefiriendo emparejarse con personas sanas y en forma, por lo que la evolución sigue eliminando los genes inadecuados a este nivel. Pero ninguna de estas mutaciones ha alterado el esquema básico de nuestro cuerpo ni ha hecho que aumentase el tamaño de nuestro cerebro. (La

tecnología moderna también está influyendo hasta cierto punto sobre nuestra evolución. Por ejemplo, ya no existe ninguna presión evolutiva sobre las personas miopes, ya que cualquier puede utilizar gafas o lentes de contacto.)

LA FÍSICA DEL CEREBRO

Desde un punto de vista evolutivo y biológico, la evolución ya no selecciona a las personas más inteligentes, al menos no tan rápido como lo hacía miles de años atrás.

También existen indicios, procedentes de las leyes de la física, de que hemos alcanzado el límite máximo natural de inteligencia, por lo que cualquier mejora tendrá que producirse mediante medios externos. Los físicos que han estudiado la neurología del cerebro concluyen que hay ciertos equilibrios que impiden que seamos mucho más listos. Cada vez que imaginamos un cerebro más grande, más denso o más complejo, nos encontramos con que un incremento de alguno de estos parámetros conlleva una disminución de los otros.

El primer principio de la física que podemos aplicar al cerebro es el de la conservación de la materia y la energía, es decir, la ley según la cual la cantidad total de materia y energía en un sistema permanece constante. En particular, para poder realizar sus fantásticas proezas de gimnasia mental, el cerebro debe conservar la energía, para lo cual recurre a muchas estratagemas. Como vimos en el capítulo 1, lo que vemos con los ojos en realidad se compone utilizando trucos para ahorrar energía. Sería necesario consumir mucho tiempo y energía para realizar un análisis racional de cualquier crisis, así que el cerebro ahorra energía haciendo valoraciones rápidas en forma de emociones. Olvidar es una manera alternativa de ahorrar energía. El cerebro consciente solo tiene acceso a una pequeña porción de los recuerdos que tienen impacto sobre el cerebro.

Así pues, la pregunta es: ¿aumentar el tamaño del cerebro o la densidad de neuronas nos proporcionaría más inteligencia?

Probablemente no. «Las neuronas de la materia gris cortical trabajan con axones que están muy próximos al límite físico»,[30] dice el doctor Simon Laughlin, de la Universidad de Cambridge. Existen varias maneras de incrementar la inteligencia del cerebro utilizando las leyes de la física, pero cada una tiene sus propios inconvenientes:

- Se puede aumentar el tamaño del cerebro y ampliar la longitud de las neuronas. El problema en este caso es que ahora el cerebro consume más energía y genera más calor al hacerlo, lo cual es perjudicial para nuestra supervivencia. Si el cerebro utiliza más energía, se calienta más, y si la temperatura corporal sube demasiado, pueden producirse daños en los tejidos. (Las reacciones químicas del cuerpo humano y nuestro metabolismo requieren que la temperatura esté dentro de

un rango bien preciso.) Además, el hecho de que las neuronas sean más largas implica que las señales tardan más tiempo en atravesar el cerebro, lo que ralentiza el proceso del pensamiento.

- Se pueden concentrar más neuronas en el mismo espacio haciéndolas más finas. Pero si las neuronas son cada vez más finas, las complejas relaciones químico-eléctricas que deben producirse en el interior del axón empiezan a fallar, lo que acaba afectando al funcionamiento de toda la neurona. Douglas Fox, en un artículo publicado en la revista *Discovery*, escribe: «La podríamos llamar la madre de todas las limitaciones: las proteínas que las neuronas utilizan para generar los pulsos eléctricos, los llamados canales iónicos, son intrínsecamente inestables».[31]
- Se puede aumentar la velocidad de la señal haciendo que aumente el grosor de las neuronas. Pero esto provoca que se incremente también el consumo de energía, lo que genera más calor. También aumenta el tamaño del cerebro, lo que amplía el tiempo que tardan las señales en llegar a su destino.
- Se pueden añadir más conexiones entre neuronas. Pero, de nuevo, esto hace que aumente el consumo de energía, lo que a su vez hace que el cerebro se vuelva más grande y lento.

Así que, cada vez que toqueteamos el cerebro, acabamos en un callejón sin salida. Las leyes de las física parecen indicar que hemos alcanzado el límite máximo de inteligencia que los humanos podemos tener de esta manera. A menos que podamos aumentar de repente el tamaño de nuestro cráneo o alterar la propia naturaleza de las neuronas, parece que ya hemos llegado a nuestro máximo nivel de inteligencia. Si queremos que aumente, tendremos que incrementar la eficiencia del cerebro (mediante drogas, genes y posiblemente máquinas del estilo de la estimulación magnética transcraneal).

PENSAMIENTOS FINALES

En resumen, puede que en las próximas décadas sea posible utilizar una combinación de terapia génica, drogas y aparatos magnéticos para incrementar nuestra inteligencia. Hay varias vías de exploración que están descubriéndonos los secretos de la inteligencia y cómo se puede modificar o mejorar. Pero ¿cuáles serían los efectos de la mejora de nuestra inteligencia sobre la sociedad? Los expertos en ética han analizado detenidamente la cuestión, puesto que la ciencia básica avanza muy rápido. El mayor temor es que la sociedad se divida en dos: por una parte, los ricos y poderosos con acceso a la tecnología, que podrían utilizarla para consolidar su privilegiado lugar en la sociedad; por otra, los pobres que no tendrían acceso a la capacidad cerebral adicional, lo que dificultaría aún más su ascenso social.

No cabe duda de que esta es una preocupación razonable, pero no encaja con la historia de la

tecnología. En el pasado, muchas tecnologías fueron en un principio exclusivamente para ricos y poderosos, pero, con el tiempo, la producción en masa, la competencia y las mejoras en el transporte y en la propia tecnología hicieron que bajasen sus costes, y también las personas corrientes tuvieron acceso a ellas. (Por ejemplo, hoy nos parece de lo más normal un desayuno que hace un siglo el rey de Inglaterra no se habría podido permitir. Gracias a la tecnología es ahora posible comprar en un supermercado *delicatessen* de todo el mundo que serían la envidia de los aristócratas de la era victoriana.) Así que, si acaba siendo posible aumentar nuestra inteligencia, el precio de la tecnología bajará progresivamente. La tecnología nunca es monopolio de los ricos y privilegiados. Tarde o temprano, el ingenio, el esfuerzo o simplemente las fuerzas del mercado harán que disminuyan sus costes.

También hay miedo a que la raza humana se divida entre aquellos que quieren mejorar su inteligencia y los que prefieren quedarse como están, lo cual se traduce en la pesadilla en la que una clase de brahmanes superinteligentes ejerza un poder despótico sobre las masas de los menos afortunados.

Pero, una vez más, puede que el miedo a las mejoras de la inteligencia sea exagerado. Una persona corriente no tiene absolutamente ningún interés en ser capaz de resolver las complejas ecuaciones tensoriales de un agujero negro, ni ve ninguna ventaja en dominar las matemáticas de las dimensiones hiperespaciales o la física de la teoría cuántica. Al contrario, a una persona corriente esas actividades le parecerán bastante aburridas e inútiles. Así que la mayoría de nosotros no nos convertiremos en genios matemáticos ni aunque nos den la oportunidad, porque no va con nosotros y no vemos ninguna ventaja en ello.

Tengamos en cuenta que en la sociedad ya existe una clase de consumados matemáticos y físicos, que cobran bastante menos dinero que un empresario normal y tienen mucho menos poder que cualquier político. Ser superlisto no garantiza el éxito económico en la vida. De hecho, ser superlisto puede hacer que nos encasillen en los peldaños inferiores de una sociedad que valora más a los atletas, las estrellas de cine, los cómicos y los personajes televisivos.

Nadie se hizo rico nunca estudiando la teoría de la relatividad.

Además, todo depende de cuáles son los rasgos en particular que se aumentan. Existen otras formas de inteligencia, aparte de la capacidad matemática. (Hay quien argumenta que la inteligencia también debería incluir el genio artístico. En este caso, podemos imaginar que alguien utilice este talento para ganarse la vida cómodamente.)

Los angustiados padres de los alumnos de secundaria querrán incrementar el cociente intelectual de sus hijos cuando estos se preparen para los exámenes finales. Pero el cociente intelectual, como ya hemos visto, no se corresponde necesariamente con el éxito en la vida. Análogamente, la gente quizá quiera mejorar su memoria pero, como hemos visto con los *savants*, tener una memoria fotográfica puede ser tanto una bendición como una maldición. Y, en ambos casos, es poco probable que las

mejoras contribuyan a que la sociedad se divida en dos.

Sin embargo, la sociedad en su conjunto podría beneficiarse de esta tecnología. Los trabajadores con una inteligencia mejorada estarían más preparados para hacer frente a un mercado laboral en cambio constante. Reeducar a los trabajadores para los empleos del futuro sería mucho menos oneroso para la sociedad. Además, el público podría tomar decisiones informadas sobre los principales asuntos tecnológicos del futuro (por ejemplo, el cambio climático, la energía nuclear o la exploración del espacio) porque comprenderían mejor estos complejos asuntos.

Esta tecnología podría también ayudar a equilibrar el terreno de juego. Actualmente, los niños que van a exclusivos colegios privados y tienen profesores particulares están mejor preparados para el mercado laboral, porque tienen más oportunidades de dominar materias difíciles. Pero si todos hubieran mejorado su inteligencia, las divisiones sociales habrían disminuido. En esa situación, el éxito de cada cual en la vida tendría que ver más con su determinación, su ambición, su imaginación y su ingenio que con haber nacido en una familia privilegiada.

Además, aumentar nuestra inteligencia podría contribuir a acelerar la innovación tecnológica. Una mayor inteligencia implicaría una mayor capacidad para simular el futuro, lo que tendría un valor incalculable a la hora de realizar nuevos descubrimientos científicos. A menudo, la ciencia se estanca en ciertos campos por falta de ideas estimulantes que abran nuevas vías de investigación. Tener la capacidad de simular distintos futuros posibles haría que aumentase enormemente el ritmo de los avances científicos.

Estos descubrimientos científicos, a su vez, podrían dar lugar a nuevas industrias, que enriquecerían a toda la sociedad, al crear nuevos mercados, nuevos empleos y nuevas oportunidades. La historia está llena de avances tecnológicos que han creado industrias completamente nuevas que beneficiaron no solo a unos pocos, sino a toda la sociedad (pensemos en el transistor y en el láser, que hoy constituyen los cimientos de la economía mundial).

Sin embargo, en la ciencia ficción, un tema recurrente es el del superdelincuente, que utiliza su potencial mental superior para cometer una ola de crímenes y frustrar al superhéroe. Todo Superman tiene a su Lex Luthor, todo Spiderman tiene a su Duende Verde. Desde luego, aunque es posible que una mente criminal utilice un potenciador cerebral para crear superarmas y planificar el crimen del siglo, hay que tener en cuenta que los miembros de la policía también utilizarán esos potenciadores para tratar de ser más listos que el genio malvado. Así que los superdelincuentes únicamente serán peligrosos si son los únicos que tienen acceso a las mejoras de la inteligencia.

Hasta ahora hemos analizado la posibilidad de que podamos mejorar o alterar nuestras capacidades mentales mediante la telepatía, la telequinesis, descargándonos recuerdos o por intermedio de potenciadores cerebrales. Esta mejora implica modificar y aumentar las capacidades mentales de nuestra conciencia. Esto asume tácitamente que nuestra conciencia normal es la única que hay, pero me gustaría explorar si existen diferentes formas de conciencia. Si es así, podría haber

otras maneras de pensar que produjesen resultados y consecuencias completamente distintos. Dentro de nuestros propios pensamientos existen estados alterados de la conciencia, como los sueños, las alucinaciones que inducen las drogas y las enfermedades mentales. También existe la conciencia no humana, la de los robots e incluso la de los alienígenas del espacio exterior. Debemos dejar a un lado la idea chovinista de que nuestra conciencia humana es la única que existe. Hay más de una manera de crear un modelo de nuestro mundo y más de una manera de simular su futuro.

Los sueños, por ejemplo, son una de las formas más antiguas de conciencia, y ya se estudiaban en la Antigüedad, aunque hasta hace poco no se había avanzado mucho en su comprensión. Quizá los sueños no sean eventos absurdos y aleatorios que el cerebro durmiente recopila, sino fenómenos que podrían ayudarnos a entender el significado de la conciencia. Los sueños podrían ser una de las claves para comprender los estados alterados de la conciencia.

TERCERA PARTE

CONCIENCIAS ALTERADAS

7

En tus sueños

El futuro pertenece a los que creen en la belleza de sus sueños.

ELEANOR ROOSEVELT

Los sueños pueden determinar el destino.

El que tal vez sea el sueño más famoso de la Antigüedad tuvo lugar en el año 312 d.C., cuando el emperador romano Constantino iba a entablar una de las mayores batallas de su vida. Enfrentado a un ejército enemigo que doblaba el suyo, se dio cuenta de que probablemente moriría al día siguiente. Pero aquella noche tuvo un sueño en el que se le apareció un ángel con la imagen de una cruz, pronunciando las históricas palabras «Con este símbolo vencerás». Inmediatamente ordenó que se adornaran los escudos de sus soldados con el símbolo de la cruz.

Las crónicas históricas relatan que al día siguiente salió triunfador, consolidando su dominio sobre el Imperio romano. Juró pagar su deuda de sangre con aquella religión relativamente poco conocida, el cristianismo, que durante siglos había sido perseguida por anteriores emperadores romanos, y cuyos profetas servían de alimento habitual a los leones del Coliseo. Promulgó leyes que irían abriendo el camino para convertirla en religión oficial de uno de los imperios más grandes del mundo.

Durante miles de años, reyes y reinas, mendigos y ladrones se han interesado por los sueños. Los antiguos consideraban que los sueños eran augurios del futuro, y a lo largo de la historia ha habido incontables intentos de interpretarlos. La Biblia cuenta en Génesis 41 el éxito de José, quien hace miles de años fue capaz de interpretar correctamente los sueños del faraón de Egipto. Cuando el faraón soñó con siete vacas gordas, seguidas por siete vacas flacas, quedó tan perturbado por las imágenes que pidió a los escribas y místicos de todo el reino que averiguaran su significado. Ninguno consiguió dar una explicación convincente, hasta que por fin José interpretó el significado del sueño: Egipto tendría siete años de buenas cosechas, a los que seguirían siete años de sequía y hambre. Por eso, dijo José, Egipto debía empezar a almacenar grano y provisiones, en preparación para los futuros años de escasez y desesperación. Cuando esto se hizo realidad, José adquirió

reputación de profeta.

Durante mucho tiempo los sueños han estado relacionados con la profecía, pero en épocas más recientes han servido también para estimular el descubrimiento científico. La idea de que los neurotransmisores podrían facilitar la transmisión de información a través de las sinapsis, que constituye la base de la neurociencia, se le ocurrió al farmacólogo Otto Loewi en un sueño. De manera similar, en 1865, August Kekulé tuvo un sueño acerca del benceno, en el que los enlaces de los átomos de carbono formaban una cadena que acababa cerrándose sobre sí misma y formando un círculo, como una serpiente que se muerde la cola. Este sueño desvelaría la estructura atómica de la molécula de benceno. Su conclusión fue: «¡Aprendamos a soñar!».

Los sueños se han interpretado también como una ventana a nuestros verdaderos pensamientos e intenciones. Michel de Montaigne, el gran escritor y ensayista del Renacimiento, escribió: «Creo que es cierto que los sueños son las verdaderas interpretaciones de nuestras inclinaciones, pero se necesita arte para clasificarlos y comprenderlos». En tiempos más recientes, Sigmund Freud propuso una teoría para explicar el origen de los sueños. En su obra emblemática, *La interpretación de los sueños*, postulaba que eran manifestaciones de nuestros deseos subconscientes, que por lo general eran reprimidos por la mente consciente, pero que corrían en libertad todas las noches. Los sueños no eran meras invenciones azarosas de nuestra calenturienta imaginación, sino que podían revelar secretos ocultos y profundas verdades sobre nosotros. «Los sueños son la carretera real que lleva al subconsciente», escribió Freud. Desde entonces se han compilado enormes enciclopedias que se jactan de revelar el significado oculto detrás de cada imagen perturbadora, en términos de la teoría freudiana.

Hollywood ha aprovechado nuestra perenne fascinación por los sueños. Una escena que se repite en muchas películas es esa en la que el protagonista experimenta una secuencia onírica aterradora, y de pronto se despierta de la pesadilla bañado en sudor frío. En la taquillera película *Origen*, Leonardo DiCaprio interpreta el papel de un ladronzuelo que roba secretos íntimos en el sitio más improbable: los sueños de la gente. Gracias a un nuevo invento, es capaz de entrar en los sueños de las personas y engañarlas para que le revelen sus secretos financieros. Las grandes compañías invierten millones de dólares en proteger sus secretos industriales y sus patentes. Los multimillonarios defienden celosamente sus fortunas utilizando complicados códigos. El trabajo del protagonista consiste en robarlos. El argumento se complica rápidamente cuando los personajes entran en sueños en los que una persona se queda dormida y vuelve a soñar. De este modo, los ladrones descienden cada vez más en las múltiples capas del subconsciente.

Pero aunque los sueños siempre nos han intrigado y desconcertado, solo en la última década los científicos han conseguido desentrañar sus misterios. De hecho, ahora los científicos pueden hacer algo que antes se consideraba imposible: gracias a los aparatos de imágenes por resonancia magnética, son capaces de obtener rudimentarias imágenes y vídeos de los sueños. Algún día

podremos ver un vídeo del sueño que tuvimos la noche anterior y adquirir conocimientos sobre nuestra mente subconsciente. Con la preparación adecuada, podríamos controlar conscientemente la naturaleza de nuestros sueños. Y tal vez, como el personaje de Leonardo DiCaprio, con una tecnología avanzada podríamos incluso penetrar en los sueños de otras personas.

LA NATURALEZA DE LOS SUEÑOS

Los sueños, con todo su misterio, no son un lujo superfluo, elaboraciones inútiles del cerebro ocioso. En realidad los sueños son imprescindibles para la supervivencia. Utilizando escáneres cerebrales, es posible demostrar que algunos animales presentan una actividad cerebral similar a la de los sueños. Si se les priva de los sueños, estos animales suelen morir en menos tiempo del que tardarían en morir de hambre, porque esta privación altera gravemente su metabolismo. Por desgracia, la ciencia no sabe con exactitud a qué se debe esto.

Soñar es también un aspecto imprescindible de nuestro ciclo de reposo. Cuando dormimos, pasamos aproximadamente dos horas soñando y cada sueño dura de cinco a veinte minutos. En total, a lo largo de nuestra vida, pasamos unos seis años soñando.

Además, los sueños son universales en la especie humana. Examinando diferentes culturas, los científicos encuentran temas comunes en los sueños. A lo largo de cuarenta años, Calvin Hall registró cincuenta mil sueños. A continuación, presentó mil informes sobre sueños de estudiantes universitarios.[1] A nadie le sorprendió que descubriera que la mayoría de la gente sueña con las mismas cosas, como experiencias personales de los días o de la semana anterior. (Sin embargo, parece que los animales sueñan de manera diferente de la nuestra. En el delfín, por ejemplo, solo duerme un hemisferio cerebral cada vez, para evitar ahogarse, porque no son peces, sino mamíferos que respiran aire. Así pues, si sueñan, probablemente solo lo hacen en un hemisferio.)

Ya hemos visto que el cerebro no es un ordenador digital, sino una red neuronal que reorganiza constantemente su cableado después de aprender nuevas tareas. No obstante, los científicos que trabajan con redes nerviosas observaron algo interesante. Con frecuencia, el sistema se satura después de aprender demasiado, y en lugar de procesar más información, entra en un estado de «sueño», en el que a veces los recuerdos vagan y se combinan al azar mientras la red nerviosa intenta asimilar todo el material nuevo. Así pues, los sueños podrían reflejar una «limpieza de la casa» en la que el cerebro procura organizar sus recuerdos de una manera más coherente. (Si fuera cierto, entonces es posible que todas las redes nerviosas, incluyendo las de todos los organismos capaces de aprender, entren en un estado de sueño para reorganizar sus recuerdos. De modo que es probable que los sueños sirvan para un propósito. Algunos científicos han especulado que esto podría implicar que los robots, que son máquinas capaces de aprender, también podrían llegar a soñar.)

Los estudios neurológicos parecen respaldar esta conclusión. Algunos de ellos han demostrado que la retención de recuerdos se puede mejorar durmiendo lo suficiente entre los momentos de actividad y un examen. Las imágenes neurales indican que las áreas del cerebro que se activan durante el sueño son las mismas que participan en el aprendizaje de una nueva tarea. Es posible que el sueño sea útil para consolidar esta nueva información.

Además, algunos sueños pueden incorporar hechos que ocurrieron unas horas antes, poco antes de caer dormidos. Pero, por lo general, los sueños incorporan recuerdos que tienen ya varios días. Por ejemplo, se ha demostrado en experimentos que si le ponemos a una persona unas gafas de color rosa, tardará unos pocos días en tener sueños de color rosa.

ESCANEO CEREBRAL DE LOS SUEÑOS

Últimamente, los escaneos cerebrales están revelando parte del misterio de los sueños. Normalmente, los electroencefalogramas indican que cuando estamos despiertos el cerebro está emitiendo ondas electromagnéticas regulares. Sin embargo, cuando poco a poco nos vamos quedando dormidos, las señales electromagnéticas empiezan a cambiar de frecuencia. Cuando por fin soñamos, del tronco encefálico emanan ondas de energía electromagnética que van hacia arriba, subiendo hasta las zonas corticales del cerebro, en especial a la corteza visual. Esto confirma que las imágenes visuales son un componente importante de los sueños. Por último, entramos en un estado de sueño y nuestras ondas cerebrales son las típicas del movimiento ocular rápido (REM, por sus siglas en inglés: *Rapid Eye Movement*). (Dado que algunos mamíferos también experimentan un sueño con REM, podemos inferir que es posible que también sueñen.) Mientras las zonas visuales del cerebro están activas, otras áreas relacionadas con el olfato, el gusto y el tacto están casi completamente apagadas. Casi todas las imágenes y las sensaciones que el cuerpo procesa son autogeneradas, y tienen su origen en las vibraciones electromagnéticas de nuestro tronco encefálico, no en estímulos exteriores. El cuerpo está muy aislado del mundo exterior. Además, cuando soñamos, estamos más o menos paralizados. (Es posible que esta parálisis sirva para impedirnos que actuemos físicamente en nuestros sueños, lo que podría ser desastroso. Aproximadamente el 6 por ciento de las personas sufre un trastorno llamado «parálisis del sueño», en el que se despiertan del sueño todavía paralizados. A menudo, estos individuos se despiertan asustados, creyendo que hay criaturas que les sujetan el pecho, los brazos y las piernas. Hay un cuadro de la época victoriana que representa a una mujer despertándose con un terrorífico duende sentado en su pecho y mirándola. Algunos psicólogos creen que la parálisis del sueño podría explicar el origen del síndrome de abducción por extraterrestres.)

El hipocampo está activo cuando soñamos, lo que parece indicar que los sueños hacen uso de nuestro almacén de recuerdos. La amígdala y el cíngulo anterior también están activos, lo que

significa que los sueños pueden ser altamente emocionales, incluyendo con frecuencia el miedo.

Pero lo más revelador son las áreas del cerebro que están inactivas, como la corteza prefrontal dorsolateral (que es el centro de mando del cerebro), la corteza orbitofrontal (que puede actuar como censor o comprobador de datos) y la región temporal-parietal (que procesa señales sensoriales motoras y nuestra posición en el espacio).

Cuando la corteza prefrontal dorsolateral está inactivada, no podemos contar con el centro planificador racional del cerebro. Por eso en nuestros sueños vagamos sin rumbo fijo y el centro visual nos proporciona imágenes sin control racional. La corteza orbitofrontal, la encargada de comprobar datos, también está inactiva. Por eso los sueños pueden desarrollarse despreocupadamente sin ninguna restricción por parte de las leyes de la física o el sentido común. Y el lóbulo temporal-parietal, que ayuda a coordinar nuestro sentido de la posición utilizando señales de los ojos y del oído interno, también está inactivado, lo que podría explicar nuestras experiencias extracorpóreas cuando estamos soñando.

Ya hemos insistido en que la conciencia humana representa principalmente la actividad del cerebro, que crea de manera constante modelos del mundo exterior y lleva a cabo simulaciones proyectadas en el futuro. De ser así, los sueños representan un modo alternativo de simular el futuro, en el que las leyes de la naturaleza y de las interacciones sociales están temporalmente suspendidas.

¿CÓMO SOÑAMOS?

Todo esto deja sin responder la pregunta: ¿qué genera nuestros sueños? Una de las mayores autoridades mundiales en cuestión de sueños es el doctor Allan Hobson, psiquiatra de la Facultad de Medicina de Harvard. Ha dedicado décadas de su vida a desvelar los secretos de los sueños, y asegura que los sueños, en especial el sueño REM, se podrían estudiar a nivel neurológico; además, que estos surgen cuando el cerebro intenta encontrar sentido a las señales que emanan al azar del tronco encefálico.

Cuando yo le entrevisté, me dijo que, después de muchas décadas de catalogarlos, había encontrado cinco características básicas de los sueños:[2]

1. Emociones intensas: esto se debe a la activación de la amígdala, que provoca emociones como el miedo.
2. Contenido ilógico: los sueños pueden cambiar rápidamente, pasando de una escena a otra, desafiando la lógica.
3. Impresiones sensoriales aparentes: los sueños nos producen sensaciones falsas que se generan en nuestro interior.

4. Aceptación acrítica de los sucesos soñados: aceptamos la naturaleza ilógica del sueño sin criticarla.
5. Dificultad para recordarlos: los sueños se olvidan pronto, a los pocos minutos de despertar.

El doctor Hobson, junto con el doctor Robert McCarley, hicieron historia al proponer la primera oposición seria a la teoría freudiana de los sueños, la llamada «teoría de la activación y síntesis». En 1977 postularon la idea de que los sueños se originan a partir de activaciones neuronales al azar en el tallo cerebral, que viajan por el cerebro hasta la corteza, la cual entonces trata de encontrar sentido a estas señales aleatorias.

La clave de los sueños se encuentra en unos nódulos situados en el tronco encefálico, la parte más antigua de nuestro cerebro, que segrega unas sustancias especiales, llamadas «adrenérgicas», las cuales nos mantienen alerta. Cuando nos dormimos, el tronco encefálico activa otro sistema, el colinérgico, que segrega sustancias que nos ponen en estado de sueño.

Al soñar, las neuronas colinérgicas del tronco encefálico empiezan a activarse, emitiendo pulsaciones erráticas de energía eléctrica, llamadas «ondas PGO» (ponto-geniculo-occipitales). Estas ondas suben por el tronco encefálico hasta la corteza visual, estimulándola para generar sueños. Las células de la corteza visual empiezan a resonar cientos de veces por segundo, de manera irregular, y puede que a esto se deba el carácter incoherente de los sueños.

Además, este sistema emite sustancias que desacoplan las partes del cerebro relacionadas con la razón y la lógica. La falta de confirmaciones procedentes de la corteza prefrontal y de la corteza orbitofrontal, más el hecho de que el cerebro se vuelve muy sensible a los pensamientos erráticos, puede explicar el carácter errático y extravagante de los sueños.

Algunos estudios han demostrado que es posible entrar en el estado colinérgico sin estar dormido.[3] El doctor Edgar Garcia-Rill, de la Universidad de Arkansas, asegura que la meditación, la preocupación o el encierro en un tanque de aislamiento pueden inducir este estado colinérgico. También pueden entrar en este estado los pilotos y los conductores que se enfrentan durante horas a la monotonía de un parabrisas vacío. En sus investigaciones, el doctor Garcia-Rill ha descubierto que los esquizofrénicos tienen un número extraordinariamente grande de neuronas colinérgicas en su tronco encefálico, lo que podría explicar algunas de sus alucinaciones.

Para que sus estudios resultaran más eficientes, el doctor Hobson hizo que sus sujetos de investigación se pusieran un casco especial que puede registrar datos automáticamente durante un sueño. Un cable conectado al casco registra los movimientos de la cabeza de la persona (porque los movimientos de la cabeza suelen ocurrir cuando los sueños terminan). Otro cable mide los movimientos de los párpados (porque el sueño con REM hace que se muevan los párpados). Cuando los sujetos despiertan, cuentan inmediatamente lo que han soñado, y además se introduce en un ordenador la información del casco.

De este modo, el doctor Hobson ha acumulado una enorme cantidad de información sobre los sueños. ¿Y cuál es el significado de los sueños?, le pregunté. Él descarta lo que llama «la mística de la interpretación de los sueños al estilo de las galletas de la suerte». No ve en los sueños ningún mensaje oculto del cosmos.

Lo que él cree es que cuando las ondas ponto-geniculo-occipitales suben desde el tronco encefálico a las zonas corticales, la corteza intenta encontrar sentido a estas señales erráticas y acaba creando una narración a partir de ellas: un sueño.

FOTOGRAFIANDO SUEÑOS

La mayoría de los científicos evitaba el estudio de los sueños, por ser tan subjetivos y tener una asociación histórica tan larga con la mística y la videncia. Pero, gracias a las imágenes obtenidas por resonancia magnética, los sueños están empezando a revelar sus secretos. De hecho, como los centros cerebrales que controlan los sueños son casi idénticos a los que controlan la visión, es posible fotografiar un sueño. Este trabajo pionero lo están haciendo en Kioto unos científicos de los Laboratorios ATR de Informática y Neurociencia.

Primero se pone a los sujetos en un aparato de resonancia magnética y se les enseñan cuatrocientas imágenes en blanco y negro, consistentes en conjuntos de puntos en un marco de diez por diez píxeles. Se les muestra una imagen cada vez, y la imagen por resonancia magnética registra las respuestas del cerebro a cada conjunto de píxeles. Como ocurre con otros equipos que trabajan en este campo de investigación, los científicos acaban recopilando una enciclopedia de imágenes, en la que cada imagen de píxeles corresponde a un patrón específico de imagen de resonancia magnética. Aquí los científicos pueden trabajar hacia atrás, para reconstruir correctamente imágenes autogeneradas a partir de las imágenes por resonancia magnética del cerebro obtenidas mientras el sujeto sueña.

El director del equipo de ATR, Yukiyasu Kamitani, señala que: «Esta tecnología se puede aplicar también a otros sentidos, además de la vista. En el futuro también será posible leer sentimientos y estados emocionales complicados».[4] De hecho, se pueden obtener imágenes de cualquier estado mental del cerebro, incluyendo los sueños, siempre que se pueda trazar un mapa de correspondencias entre un estado mental dado y unas imágenes por resonancia magnética.

Los científicos de Kioto se han concentrado en el análisis de fotografías fijas generadas por la mente. En el capítulo 3 encontramos un enfoque similar, introducido por el doctor Jack Gallant, en el que se pueden utilizar los vóxeles de los escaneos de imagen por resonancia magnética en 3D del cerebro para reconstruir la imagen real que ve el ojo, con ayuda de una complicada fórmula. Un proceso similar ha permitido al doctor Gallant y a su equipo crear un vídeo rudimentario de un

sueño. Cuando visité su laboratorio de Berkeley, hablé con un miembro del personal de posdoctorado, el doctor Shinji Nishimoto, que me permitió ver el vídeo de uno de sus sueños, uno de los primeros que se hicieron. Vi una serie de rostros tremolando en la pantalla del ordenador, lo que significaba que el sujeto (en este caso, el doctor Nishimoto mismo) estaba soñando con gente, y no con animales u objetos.[5] Aquello era asombroso. Por desgracia, la tecnología todavía no es lo bastante buena para ver los rasgos faciales precisos de las personas que aparecían en su sueño, así que el próximo paso será aumentar el número de píxeles para poder identificar imágenes más complejas. Otro avance será reproducir imágenes en color, no solo en blanco y negro.

A continuación, le hice al doctor Nishimoto la pregunta crucial: ¿cómo sabe que el vídeo es correcto?; ¿cómo sabe que el aparato no está inventando cosas? Un poco cohibido, me respondió que aquel era el punto débil de su investigación. Normalmente, solo tenemos unos pocos minutos después de despertar para registrar el sueño. Después de eso, la mayoría de los sueños se pierde en la niebla de nuestra conciencia y no es fácil verificar los resultados.

El doctor Gallant me dijo que esta investigación sobre las imágenes de los sueños era todavía un trabajo en desarrollo y por eso aún no es publicable. Todavía falta mucho para que podamos ver un vídeo del sueño de la noche pasada.

SUEÑOS LÚCIDOS

Los científicos están investigando también una manera de soñar que antes se pensaba que era un mito: el sueño lúcido, o soñar cuando estamos conscientes. Esto suena a contradicción, pero se ha verificado en escaneos cerebrales. En el sueño lúcido, los soñadores son conscientes de que están soñando y pueden controlar la dirección del sueño. Aunque la ciencia solo está empezando a experimentar con el sueño lúcido, en realidad se trata de un fenómeno antiguo, con referencias que se remontan a muchos siglos atrás. En el budismo, por ejemplo, hay libros que hablan de los soñadores lúcidos y de cómo entrenarse para llegar a serlo. En Europa, a lo largo de los siglos, ha habido varias personas que han escrito descripciones detalladas de sueños lúcidos.

Los escaneos cerebrales de soñadores lúcidos demuestran que este fenómeno es real: durante el sueño REM, la corteza prefrontal dorsolateral, que normalmente está inactiva cuando una persona sueña, está activa, lo que indica que está parcialmente consciente mientras sueña. De hecho, cuanto más lúcido es el sueño, más activa está la corteza prefrontal dorsolateral. Puesto que la corteza prefrontal dorsolateral representa la parte consciente del cerebro, el soñador debe estar consciente mientras está soñando.

El doctor Hobson me dijo que cualquiera puede aprender a tener sueños lúcidos practicando ciertas técnicas. En particular, las personas que practican el sueño lúcido deben llevar un cuaderno de notas

de sus sueños. Antes de dormirse, deben recordarse a sí mismos que en mitad del sueño van a «despertar» y darse cuenta de que se están moviendo en un mundo onírico. Es importante tener esta actitud mental antes de irse a la cama. Dado que el cuerpo está prácticamente paralizado durante el sueño REM, es difícil que el soñador envíe al mundo exterior una señal de que ha entrado en un sueño, pero el doctor Stephen LaBerge, de la Universidad de Stanford, ha estudiado a soñadores lúcidos (incluyendo él mismo) que pueden enviar señales al mundo exterior mientras sueñan.

En 2011, los científicos utilizaron por primera vez el escáner de imagen por resonancia magnética y sensores de electroencefalografía para medir el contenido de los sueños e incluso para establecer contacto con una persona que sueña. En el Instituto Max Planck de Múnich y Leipzig, los investigadores contaron con la colaboración de soñadores lúcidos, a los que colocaban en un aparato de imagen por resonancia magnética. Antes de dormirse, los soñadores acordaron iniciar una serie de movimientos oculares y patrones de respiración cuando soñaran, como un código morse. Se les dijo que en cuanto empezaran a soñar debían cerrar el puño derecho y después el izquierdo durante diez segundos. Aquella era la señal de que estaban soñando. Después se les pusieron en la cabeza sensores de electroencefalografía para determinar el momento en que entraban en el sueño REM.

Los científicos descubrieron que cuando los sujetos entraban en estado de sueño, se activaba la corteza sensomotriz del cerebro (responsable de controlar las acciones motoras, como cerrar los puños). Después, utilizando otro sensor (un espectrómetro casi infrarrojo), pudieron confirmar que aumentaba la actividad cerebral en la región que controla la planificación de movimientos.

Por lo tanto, nuestros sueños «no son un cine onírico en el que simplemente observamos pasivamente un acontecimiento, sino que implican actividad en las áreas del cerebro relevantes para el contenido del sueño», dice Michael Czisch, director de un equipo del Instituto Max Planck.[6]

ENTRAR EN UN SUEÑO

Si podemos comunicarnos con una persona que sueña, ¿también será posible alterar los sueños de alguien desde fuera? Probablemente.

En primer lugar, como hemos visto, los científicos ya han dado los pasos iniciales para «filmar» los sueños de una persona, y en los próximos años será posible crear imágenes y vídeos de sueños mucho más precisos. En principio, puesto que ya han podido establecer un lazo de comunicación entre el mundo real y un soñador lúcido en su mundo de fantasía, los científicos podrían alterar deliberadamente el curso de un sueño. Supongamos que los científicos están mirando el vídeo de un sueño utilizando un aparato de imagen por resonancia magnética mientras el sueño se desarrolla en tiempo real. Mientras la persona vaga por el paisaje onírico, los científicos pueden saber por dónde va y darle instrucciones para que se mueva en diferentes direcciones.

Así pues, en el futuro próximo podría ser posible ver un vídeo del sueño de una persona e influir en su dirección general. Pero en la película *Origen*, Leonardo DiCaprio va mucho más lejos. No solo es capaz de observar los sueños de otra persona, sino también de entrar en ellos. ¿Es posible esto?

Ya hemos visto que cuando soñamos estamos paralizados para no llevar a la práctica nuestras fantasías, lo cual sería desastroso. Sin embargo, los sonámbulos suelen tener los ojos abiertos (con una apariencia vidriosa). Los sonámbulos viven en un mundo híbrido, en parte real y en parte soñado. Hay muchos casos documentados de personas que andaban por sus casas, conducían coches, cortaban leña e incluso cometían homicidios en este estado de ensoñación, en el que se mezclan los mundos de la realidad y la fantasía. Por lo tanto, es posible que las imágenes físicas que el ojo ve interactúen libremente con las ficticias que el cerebro está generando durante un sueño.

Así pues, la manera de entrar en el sueño de otro podría consistir en hacer que el sujeto se ponga lentillas capaces de proyectar imágenes directamente en su retina. En la Universidad de Washington en Seattle ya se están desarrollando prototipos de lentillas para internet.[7] Si un observador quisiera entrar en el sueño de otra persona, primero tendría que posar en un estudio para que una videocámara lo filmase. Después se podría proyectar su imagen sobre las lentillas del soñador, creando una compuesta (la imagen del observador superpuesta a las que está creando el cerebro).

Aunque el estudio esté vacío, el observador podría ver este mundo imaginario mientras se mueve por el sueño, porque también él llevaría lentillas para internet. La imagen por resonancia magnética del sueño de la persona, una vez descifrada por un ordenador, se enviaría directamente a sus lentillas.

Además, se podría cambiar la dirección del sueño en el que uno ha entrado. Al andar por el estudio vacío, podríamos ver cómo se despliega el sueño en las lentillas, y podría empezar a interactuar con los objetos y las personas que aparecen en él. Esto sería toda una experiencia, porque el fondo puede cambiar sin previo aviso, aparecerían y desaparecerían imágenes sin razón alguna, y las leyes de la física quedarían suspendidas. Todo vale.

En un futuro más lejano, incluso podría ser posible entrar en el sueño de otra persona conectando dos cerebros dormidos. Cada cerebro tendría que estar conectado a escáneres de imagen por resonancia magnética, conectados a su vez a un ordenador central, que fundiría las dos imágenes en una sola. Primero, el ordenador descifraría las imágenes por resonancia magnética de cada persona en una imagen de vídeo. Después, se enviaría el sueño de una persona a las áreas sensoriales del cerebro de la otra, para que el sueño del segundo soñador se combinase con el sueño del primero. Sin embargo, la tecnología para grabar e interpretar sueños tendría que ser mucho más avanzada para que esto sea posible.

Pero esto plantea otra pregunta: si es posible alterar el curso del sueño de una persona, ¿podríamos controlar no solo su sueño sino también su mente? Durante la guerra fría, esto se convirtió en una cuestión muy seria, ya que tanto la Unión Soviética como Estados Unidos participaban en un juego mortífero, intentando utilizar técnicas psicológicas para controlar la voluntad de otras personas.

8

¿Se puede controlar la mente?

La mente es, simplemente, lo que hace el cerebro.

MARVIN MINSKY

En un ruedo vacío de Córdoba (España) se suelta un toro bravo.[1] Este fiero animal ha sido criado durante generaciones para maximizar su instinto asesino. A continuación, un profesor de Yale entra tranquilamente en la misma arena. En lugar de llevar una chaqueta de mezclilla, va vestido como un deslumbrante matador, con traje de luces y haciendo ondear desafiantemente un capote rojo delante del toro, provocándolo. En lugar de huir aterrorizado, el profesor parece tranquilo, confiado e incluso con aire ausente. A cualquier espectador le parecería que el profesor se ha vuelto loco y quiere suicidarse.

El toro, enfurecido, se acerca al profesor. De pronto embiste, apuntando sus mortíferos cuernos hacia él. El profesor no huye asustado. Tiene una cajita en la mano. Y ante las cámaras, aprieta un botón de la cajita y el toro se para en seco. El profesor está tan seguro de sí mismo que se ha jugado la vida para demostrar que ha dominado el arte de controlar la mente de un toro bravo.

El profesor de Yale es el doctor José Rodríguez Delgado, que se adelantó a su tiempo y en la década de 1960 fue pionero en una serie de sensacionales —pero inquietantes— experimentos que le daban el poder de controlar los movimientos de distintos animales poniéndoles electrodos en su cerebro. Para detener al toro, le implantó electrodos en el cuerpo estriado de los ganglios basales, en la base del cerebro, que es responsable de la coordinación motora.

También hizo una serie de experimentos con monos para ver si podía reorganizar su jerarquía social con solo apretar un botón. Después de implantar electrodos en el núcleo caudado (una región relacionada con el control motor) del macho alfa del grupo, Rodríguez Delgado pudo reducir las tendencias agresivas del jefe. Al no haber amenazas de represalias, los machos delta empezaron a imponerse, usurpando el territorio y los privilegios normalmente reservados al macho alfa. Mientras tanto, el macho alfa parecía haber perdido el interés por defender su territorio.

Entonces el doctor Rodríguez Delgado apretó otro botón y el macho alfa volvió al instante a la

normalidad, reasumiendo su conducta agresiva y restableciendo su poder como rey de la montaña. Los machos delta se dispersaron asustados.

El doctor Rodríguez Delgado fue el primero en demostrar que es posible controlar mentes animales de esta manera. El profesor se convirtió en el marionetista que manejaba los hilos de títeres vivos.

Como era de esperar, la comunidad científica miraba con inquietud el trabajo del doctor Rodríguez Delgado. Para empeorar las cosas, en 1969 escribió un libro con el provocador título de *Control físico de la mente: Hacia una sociedad psicocivilizada*. Todo esto planteaba una cuestión inquietante: si científicos como el doctor Rodríguez Delgado maneja los hilos, ¿quién controla al marionetista?

Los trabajos del doctor Rodríguez Delgado ponen de manifiesto las enormes posibilidades y los peligros de esta tecnología. En manos de un dictador sin escrúpulos, esta tecnología se podría utilizar para engañar y controlar a sus desdichados súbditos. Pero también se podría utilizar para liberar a millones de personas que están atrapadas en enfermedades mentales, atormentadas por sus alucinaciones o abrumadas por sus angustias. (Años después, un periodista le preguntó al doctor Rodríguez Delgado por qué inició estos polémicos experimentos. Respondió que quería corregir los horrorosos abusos sufridos por los enfermos mentales, a los que muchas veces se sometía a lobotomías radicales, en las que se removía la corteza prefrontal con un instrumento parecido a un picahielos, que se introducía a martillazos por encima de la cuenca del ojo hasta llegar al cerebro. Los resultados eran muchas veces trágicos, y algunos de estos horrores se denunciaban en la novela de Ken Kesey *Alguien voló sobre el nido del cuco*, que fue adaptada al cine en una película protagonizada por Jack Nicholson. Algunos pacientes quedaban tranquilos y relajados, pero muchos otros se convertían en zombis: letárgicos, indiferentes al dolor y a los sentimientos, emocionalmente vacíos. Esta práctica estaba tan extendida que en 1949 Antonio Egas Moniz ganó el Premio Nobel por perfeccionar la lobotomía. Irónicamente, la Unión Soviética prohibió esta práctica en 1950, declarando que era «contraria a los principios de la humanidad». Según las autoridades soviéticas, la lobotomía convertía «a una persona loca en idiota». En total, se calcula que solo en Estados Unidos se practicaron unas cuarenta mil lobotomías en dos décadas.

CONTROL MENTAL Y GUERRA FRÍA

Otra razón para la gélida acogida que tuvo el trabajo del doctor Rodríguez Delgado fue el clima político de la época. La guerra fría estaba en su apogeo y había dolorosos recuerdos de soldados estadounidenses prisioneros desfilando ante las cámaras durante la guerra de Corea. Con la mirada perdida, reconocían ser espías en misiones secretas, confesaban horribles crímenes de guerra y denunciaban el imperialismo de Estados Unidos.

Para explicar aquello, la prensa empleaba la expresión «lavado de cerebro». Se suponía que los comunistas habían inventado drogas y técnicas secretas para transformar a los soldados estadounidenses en zombis sumisos. En este cargado ambiente político, Frank Sinatra protagonizó en 1962 el *thriller* de la guerra fría *El mensajero del miedo*, en el que intentaba desenmascarar a un agente secreto comunista «durmiente» cuya misión era asesinar al presidente de Estados Unidos. Pero había un giro siniestro: el asesino era un héroe de guerra estadounidense de toda confianza, que había sido capturado por los comunistas y sometido a un lavado de cerebro. Al pertenecer a una familia con muy buenas relaciones, el agente parece por encima de toda sospecha y es casi imposible detenerlo. *El mensajero del miedo* es una película que refleja las angustias de muchos estadounidenses en aquella época.

Muchos de aquellos temores se avivaron también en la profética novela de Aldous Huxley *Un mundo feliz*, de 1931. En esta distopía hay grandes fábricas de niños-probeta que producen clones. Privando selectivamente de oxígeno a los embriones, es posible producir individuos con diferentes niveles de daño cerebral. En lo alto de la escala social están los alfas, que no sufrieron lesiones cerebrales y han sido criados para gobernar la sociedad. En el nivel más bajo están los épsilon, con un cerebro considerablemente dañado, que se utilizan como peones obedientes y prescindibles. En medio hay otros niveles que constituyen las distintas profesiones y la burocracia. La élite controla la sociedad a base de drogas que alteran la mente, el amor libre y constantes lavados de cerebro. De este modo se mantienen la paz, la tranquilidad y la armonía, pero la novela plantea una perturbadora cuestión que aún sigue resonando en nuestros días: ¿cuánta libertad y humanidad básica estamos dispuestos a sacrificar en nombre de la paz y el orden social?

EXPERIMENTOS DE CONTROL MENTAL DE LA CIA

Esta histeria acabó llegando a los niveles más altos de la CIA.[2] Convencida de que los soviéticos iban muy por delante en la ciencia del lavado de cerebro y en métodos científicos poco ortodoxos, la CIA emprendió diversos proyectos secretos, como el MK-ULTRA, que comenzó en 1953, para explorar ideas extravagantes y heterodoxas. (En 1973, cuando el escándalo del Watergate sembró el pánico en el gobierno, el director de la CIA, Richard Helms, canceló el MK-ULTRA y se apresuró a ordenar que se destruyeran todos los documentos referentes al proyecto. Sin embargo, veinte mil documentos sobrevivieron a la purga y fueron desclasificados en 1977 en aplicación de la Ley de Libertad de Información, revelando todo el alcance de esta masiva operación.)

Ahora se sabe que, entre 1953 y 1973, el MK-ULTRA financió a ochenta instituciones, cuarenta y cuatro universidades y facultades, y decenas de hospitales, compañías farmacéuticas y prisiones, experimentando muchas veces con personas que no eran conscientes y sin su permiso, en ciento

cincuenta operaciones secretas. En un momento dado, el 6 por ciento del presupuesto total de la CIA se dedicaba al MK-ULTRA.

Algunos de estos proyectos de control mental eran:

- Desarrollar un «suero de la verdad» para que los prisioneros revelaran sus secretos.
- Borrar recuerdos por medio de un proyecto de la Marina de Estados Unidos llamado «Subproyecto 54».
- Utilizar hipnosis y una gran variedad de drogas, en especial LSD, para controlar el comportamiento de otros.
- Investigar el uso de drogas de control mental contra líderes extranjeros, como Fidel Castro.
- Perfeccionar métodos de interrogatorio a prisioneros.
- Desarrollar una droga incapacitadora de acción rápida y que no dejara huella.
- Alterar el carácter de las personas por medio de drogas para volverlas más dóciles.

Aunque algunos científicos pusieron en duda la validez de estos estudios, otros colaboraron de buena gana. Se reclutaron expertos en una amplia variedad de disciplinas, incluyendo videntes, físicos e informáticos, para investigar diversos proyectos heterodoxos: experimentos con drogas que alteran la mente como el LSD, pedir a videntes que localizaran la posición de submarinos soviéticos patrullando por las profundidades, etcétera. En un lamentable incidente, a un científico del ejército estadounidense se le suministró LSD sin decírselo. Se desorientó de manera tan violenta que se suicidó saltando por una ventana.

Casi todos estos experimentos se justificaban alegando que los soviéticos iban muy por delante de nosotros en cuestiones de control mental. El Senado de Estados Unidos recibió otro informe secreto que decía que los soviéticos estaban experimentando con radiaciones de microondas, enviándolas directamente al cerebro de los sujetos experimentales. En lugar de denunciar esta práctica, Estados Unidos vio en ello «un gran potencial para el desarrollo de un sistema capaz de desorientar o alterar las pautas de comportamiento del personal militar o diplomático».[3] El ejército estadounidense llegó a asegurar que tenía capacidad para irradiar palabras y discursos enteros a las mentes del enemigo: «Uno de los trucos de engaño […] consiste en crear a distancia ruido en la cabeza del personal, exponiéndolos a microondas pulsátiles de baja potencia […] Seleccionando adecuadamente las características de la pulsación, se puede crear lenguaje inteligible […] De este modo, sería posible “hablar” a adversarios concretos de una manera que sería sumamente perturbadora para ellos», se podía leer en el informe.

Por desgracia, ninguno de estos experimentos estaba científicamente controlado, y se gastaron millones de dólares de los contribuyentes en proyectos como este, que muy probablemente infringían las leyes de la física, ya que el cerebro humano no puede recibir radiación de microondas y, lo que es

más importante, no tiene la capacidad de descodificar mensajes en microondas. El doctor Steve Rose, biólogo de la Open University, ha calificado este disparatado proyecto de «imposibilidad neurocientífica».[4]

Pero a pesar de todos los millones gastados en estos «proyectos negros», parece que de ellos no salió ni un fragmento de ciencia aprovechable. De hecho, el uso de drogas que alteran la mente causó desorientación e incluso pánico entre los sujetos de los experimentos, pero el Pentágono no consiguió su principal objetivo: el control de la mente consciente de otra persona.

Además, según el psicólogo Robert Jay Lifton, el lavado de cerebro por parte de los comunistas tenía poco efecto a largo plazo. Casi todos los soldados estadounidenses que renegaron de Estados Unidos durante la guerra de Corea recuperaron su personalidad poco después de ser liberados. Además, los estudios realizados sobre personas con las que ciertas sectas habían practicado el lavado de cerebro demostraron también que estas recuperaban su personalidad habitual después de abandonarlas. Así pues, parece que, a largo plazo, nuestra personalidad básica no se ve afectada por el lavado de cerebro.

Por supuesto, los militares no fueron los primeros en experimentar con el control mental. En la Antigüedad, hechiceros y videntes aseguraban que dando pócimas mágicas a los soldados capturados se conseguía que hablaran o se volvieran contra sus líderes. Uno de los primeros métodos de control mental fue el hipnotismo.

EMPIEZAS A TENER SUEÑO…

Recuerdo que de niño vi algunos programas especiales de televisión dedicados a la hipnosis. En uno de aquellos programas se ponía a un voluntario en un trance hipnótico y se le decía que, cuando despertara, sería una gallina. El público se quedaba boquiabierto cuando esa persona empezaba a cacarear y aletear con los brazos por el escenario. Pero a pesar de lo espectacular de la demostración, era un simple ejemplo de «hipnosis escénica». Los libros escritos por magos profesionales y gente del espectáculo explican que utilizan cómplices situados entre el público, el poder de sugestión e incluso la disposición de la víctima a seguir el juego.

En una ocasión presenté un documental de la BBC/Discovery TV titulado *Time* y en él salió a colación el tema de los recuerdos olvidados. ¿Es posible evocar estos recuerdos lejanos por medio de la hipnosis? Y si lo es, ¿podemos imponer nuestra voluntad a otra persona? Para poner a prueba algunas de estas ideas, me hice hipnotizar para la televisión.

La BBC contrató a un experto hipnotizador para iniciar el proceso. Se me pidió que me tumbara en una cama en una habitación en silencio y en penumbra. El hipnotizador me hablaba despacio y en tono suave, haciendo que me relajara poco a poco. Al cabo de un rato, me dijo que pensara en el

pasado, en cierto lugar o incidente que destacara incluso después de muchos años. Y después me pidió que volviera a entrar en aquel lugar y experimentara de nuevo sus imágenes, sonidos y olores. Sorprendentemente, empecé a ver lugares y caras de personas que había olvidado desde hacía décadas. Era como mirar una película borrosa que poco a poco se iba enfocando. Pero entonces los recuerdos se interrumpieron. Llegado a cierto punto, no podía recuperar más recuerdos. Estaba claro que existía un límite a lo que la hipnosis puede hacer.

Los electroencefalogramas y las imágenes por resonancia magnética demuestran que durante la hipnosis el sujeto tiene una estimulación sensorial mínima procedente del exterior. Gracias a eso, la hipnosis permite acceder a algunos recuerdos que están enterrados, pero desde luego no puede cambiar nuestra personalidad, objetivos y deseos. Un documento secreto del Pentágono de 1956 corrobora esto, explicando que no se puede confiar en la hipnosis como arma militar. «Probablemente sea significativo que, en la larga historia de la hipnosis, habiéndose conocido siempre su potencial aplicación a la obtención de información, no existan casos fidedignos de su uso efectivo por ningún servicio de inteligencia», decía.[5]

También hay que tener en cuenta que los escaneos cerebrales demuestran que el hipnotismo no es un nuevo estado de conciencia, como los sueños y el sueño REM. Si definimos la conciencia humana como el proceso de construir continuamente modelos del mundo exterior y después simular cómo evolucionarán en el futuro para lograr un objetivo, veremos que la hipnosis no puede alterar este proceso básico. La hipnosis puede acentuar ciertos aspectos de la conciencia y ayudar a recuperar ciertos recuerdos, pero no puede hacer que cacareemos como una gallina sin nuestro permiso.

DROGAS QUE ALTERAN LA MENTE Y SUEROS DE LA VERDAD

Uno de los objetivos del MK-ULTRA era la creación de un suero de la verdad para lograr que los espías y prisioneros revelaran sus secretos. Aunque el MK-ULTRA se canceló en 1973, los manuales de interrogatorio del ejército estadounidense y de la CIA desclasificados por el Pentágono en 1996 seguían recomendando el uso de sueros de la verdad (aunque el Tribunal Supremo de Estados Unidos decidió que las confesiones obtenidas de esta manera eran una «coacción inconstitucional» y, por lo tanto, inadmisibles en un tribunal).

Cualquiera que vea películas de Hollywood sabe que el pentotal sódico es el suero de la verdad preferido por los espías (como en las películas *Mentiras arriesgadas*, con Arnold Schwarzenegger, y *Los padres de él*, con Robert DeNiro). El pentotal sódico forma parte de un grupo de barbitúricos, sedantes e hipnóticos que pueden salvar la barrera existente entre la sangre y el cerebro, la cual criba la mayoría de las sustancias nocivas en nuestro torrente sanguíneo, impidiendo que penetren en el cerebro.

Casi todas las drogas que alteran la mente, como el alcohol, son efectivas porque, para empezar, pueden salvar esta barrera. El pentotal sódico reduce la actividad en la corteza prefrontal, haciendo que una persona se vuelva más relajada, habladora y desinhibida. Sin embargo, esto no significa que diga la verdad. Por el contrario, las personas bajo el efecto del pentotal, como las que han bebido unas copas de más, son perfectamente capaces de mentir. Los «secretos» que salen a chorro de la boca de una persona sometida a esta droga pueden ser completas invenciones. Hasta la CIA acabó renunciando a este tipo de drogas.

Pero esto aún deja abierta la posibilidad de que un día se descubra una droga milagrosa que pueda alterar nuestra conciencia básica. Dicha droga funcionaría cambiando las sinapsis entre nuestras fibras nerviosas al influir en los neurotransmisores que actúan en esa zona, como la dopamina, la serotonina o la acetilcolina. Si pensamos en las sinapsis como una serie de cabinas de peaje a lo largo de una superautopista, hay algunas drogas (estimulantes como la cocaína) capaces de abrir la barrera y dejar que los mensajes pasen sin impedimentos. El repentino subidón que sienten los drogadictos se produce cuando estas barreras de peaje se abren todas a la vez, causando una avalancha de señales que lo inundan todo. Después, cuando todas las sinapsis se han activado al unísono, ya no pueden volver a activarse hasta varias horas después. Es como si todas las cabinas se hubieran cerrado, y esto causa la repentina depresión que se siente después de la subida. El deseo del cuerpo de volver a experimentar el subidón es la causa de la adicción.

CÓMO LAS DROGAS ALTERAN LA MENTE

Aunque la base bioquímica de las drogas que alteran la mente no se conocía cuando la CIA empezó a experimentar con sujetos no conscientes de ello, desde entonces se ha estudiado con todo detalle la base molecular de la adicción. Los estudios con animales demuestran lo poderosa que es la adicción a las drogas: si se les da la oportunidad, ratas, ratones y primates tomarán drogas como la cocaína, la heroína y las anfetaminas hasta caer exhaustos o morir.

Para comprender cuán extendido está este problema, hay que tener en cuenta que, en 2007, trece millones de mayores de doce años (un 5 por ciento de toda la población adolescente y adulta de Estados Unidos) habían probado o se habían vuelto adictos a las metanfetaminas.[6] La adicción a las drogas no solo destruye vidas enteras, sino que también destruye sistemáticamente el cerebro. Las imágenes por resonancia magnética del cerebro de adictos a las metanfetaminas muestran una reducción del 11 por ciento en el tamaño del sistema límbico, que procesa las emociones, y una pérdida del 8 por ciento del tejido del hipocampo, que es la puerta de la memoria. Los escáneres de imágenes por resonancia magnética indican que el daño es comparable en algunos aspectos al observado en pacientes de alzhéimer. Pero por mucho que la metanfetamina les destruya el cerebro,

los adictos la ansían, porque el subidón es hasta doce veces mayor que el que se obtiene con una comida deliciosa e incluso con el sexo.

Básicamente, el «colocón» de las drogas se debe a que estas «secuestran» el sistema de placer/recompensa del cerebro, localizado en el sistema límbico. Este circuito de placer/recompensa es muy primitivo, tiene millones de años de historia evolutiva, pero sigue siendo sumamente importante para la supervivencia humana porque premia las conductas beneficiosas y castiga los actos perjudiciales. Pero cuando este circuito cae en poder de las drogas, puede causar estragos generalizados. Estas penetran primero por la barrera sangre-cerebro y después ocasionan una superproducción de neurotransmisores como la dopamina, que inundan el núcleo accumbens, un pequeño centro de placer situado en las profundidades del cerebro, cerca de la amígdala. La dopamina, a su vez, es producida por ciertas células cerebrales del área tegmental ventral, llamadas «células ATV».

Básicamente, todas las drogas funcionan de la misma manera: estropeando el circuito ATV/núcleo accumbens, que controla el flujo de dopamina y otros neurotransmisores al centro de placer. Las drogas solo se diferencian en la manera en que tiene lugar este proceso. Existen al menos tres sustancias importantes que estimulan el centro de placer del cerebro: la dopamina, la serotonina y la noradrenalina, que producen sensaciones de placer, euforia y falsa confianza, y también provocan una explosión de energía.

La cocaína y otros estimulantes, por ejemplo, actúan de dos maneras. Primero, estimulan directamente las células ATV para que produzcan más dopamina, con el resultado de que un exceso de esta inunda el núcleo accumbens. Y segundo, impiden que las células ATV vuelvan a su posición «inactivada», de modo que siguen produciendo dopamina continuamente. También dificultan la absorción de serotonina y noradrenalina. La saturación simultánea de los circuitos neuronales con estos tres neurotransmisores provoca el tremendo subidón característico de la cocaína.

En cambio, la heroína y otros opiáceos actúan neutralizando las células ATV que podrían reducir la producción de dopamina, con el resultado de que el ATV produce un exceso de esta.

Las drogas como el LSD actúan estimulando la producción de serotonina, lo que induce una sensación de bienestar, significado y afecto.[7] Pero también activan áreas del lóbulo temporal que participan en la creación de alucinaciones. (Basta con cincuenta microgramos de LSD para provocar alucinaciones. De hecho, este se enlaza con tanta fuerza que aumentar la dosis no causa un mayor efecto.)

Con el tiempo, la CIA acabó dándose cuenta de que las drogas que alteran la mente no eran la fórmula mágica que andaban buscando. Las alucinaciones y adicciones que acompañan a estas drogas hacen que sean demasiado irregulares e impredecibles, y podrían causar más problemas que beneficios en situaciones políticas delicadas.

(Hay que decir que, en años recientes, las imágenes por resonancia magnética del cerebro de

drogadictos han revelado la posibilidad de una nueva manera de curar o tratar algunas formas de adicción. Se observó por casualidad que a las víctimas de derrames cerebrales que habían sufrido daños en la ínsula [situada en las profundidades del cerebro, entre la corteza prefrontal y la temporal] les resultaba mucho más fácil dejar de fumar que a los fumadores corrientes. Este resultado se ha verificado también en adictos a la cocaína, el alcohol, los opiáceos y la nicotina. De confirmarse, este resultado significa que sería posible regular la actividad de la ínsula por medio de electrodos o estimuladores magnéticos para así tratar la adicción. «Es la primera vez que demostramos algo parecido, que una lesión en una área concreta del cerebro puede eliminar por completo el problema de la adicción. Es impresionante», dice la doctora Nora Volkow, directora del Instituto Nacional de Drogadicción.[8] Por el momento, nadie sabe cómo funciona esto. La ínsula participa en una asombrosa variedad de funciones cerebrales, entre ellas la percepción, el control motor y la conciencia de uno mismo. Pero si este resultado se confirma, podría cambiar todo el panorama de los estudios sobre la adicción.)

SONDEOS OPTOGENÉTICOS DEL CEREBRO

Muchos de estos experimentos de control mental se realizaron en una época en la que el cerebro seguía siendo un misterio, con métodos poco rigurosos que fallaban con frecuencia. Sin embargo, gracias a la proliferación de mecanismos capaces de sondear el cerebro, han surgido nuevas posibilidades que pueden ayudar a comprender el cerebro y tal vez controlarlo.

La optogenética, como ya hemos mencionado, es uno de los campos de desarrollo más rápido en la ciencia actual. El objetivo básico es identificar con exactitud a qué rutas nerviosas corresponden los diferentes modos de comportamiento. La optogenética empieza por el gen que codifica la proteína llamada «opsina», que es bastante especial porque es sensible a la luz. (Se cree que la aparición de este gen hace cientos de millones de años fue responsable de la formación del primer ojo. Con el tiempo, un simple fragmento de piel sensible a la luz gracias a la opsina, evolucionaría hasta convertirse en la retina de un ojo.)

Cuando se inserta el gen de la opsina en una neurona y se enciende una fuente de luz, la neurona reaccionará activándose. Activando y apagando un conmutador, se puede reconocer al instante la ruta nerviosa de ciertos comportamientos, porque las proteínas de la familia de las opsinas conducen la electricidad y se activan.

Lo difícil, sin embargo, es insertar este gen en una neurona individual. Para hacerlo, se utiliza una técnica tomada de la ingeniería genética. Se inserta el gen de la opsina en un virus inocuo (al que se le han extirpado todos sus genes perjudiciales) y, con instrumentos de precisión, se implanta en una neurona individual. El virus infecta la neurona insertando sus genes en la dotación genética de esta. Y

después, cuando se dirige un rayo de luz hacia el tejido nervioso, esa neurona se activa. De esta manera, se puede determinar la ruta exacta que siguen ciertos mensajes.

La optogenética no solo identifica ciertas rutas haciendo brillar un haz de luz; además, permite a los científicos controlar el comportamiento. Este método ya ha tenido un éxito demostrado. Desde hacía mucho tiempo se sospechaba que el responsable de que las moscas de la fruta huyeran volando debía de ser un circuito nervioso simple. Con este método fue posible por fin identificar la ruta exacta responsable de la rápida huida. Basta con dirigir una luz hacia estas moscas de la fruta para que reaccionen.

Ahora los científicos también son capaces de hacer que las lombrices dejen de culebrear haciendo incidir sobre ellas rayos de luz, y en 2011 se hizo otro gran avance. Unos científicos de Stanford consiguieron insertar el gen de la opsina en una región concreta de la amígdala de unos ratones. Estos, criados y seleccionados para ser tímidos, se quedaban acurrucados en sus jaulas. Pero cuando se dirigía un rayo de luz a sus cerebros, los ratones perdían de repente la timidez y empezaban a explorar sus jaulas.

Las implicaciones son enormes. Si bien las moscas de la fruta tienen mecanismos reflejos simples, en los que solo interviene un puñado de neuronas, los ratones tienen un sistema límbico completo, con equivalentes en el cerebro humano. Aunque muchos experimentos que dan resultado en ratones no se pueden extrapolar a los seres humanos, sigue existiendo la posibilidad de que algún día los científicos descubran las rutas nerviosas exactas de algunas enfermedades mentales para tratarlas sin efectos secundarios. Según el doctor Edward Boyden, del MIT: «Si quieres desactivar un circuito cerebral y la alternativa es extirpar quirúrgicamente una parte del cerebro, parece que los implantes de fibra óptica serían preferibles».[9]

Una aplicación práctica es el tratamiento del párkinson. Como hemos visto, se puede tratar mediante estimulación profunda del cerebro, pero dado que los electrodos implantados en el cerebro no son precisos, siempre existe el peligro de derrames, hemorragias, infecciones, etcétera. Además, la estimulación profunda del cerebro puede causar efectos secundarios como aturdimiento y contracciones musculares, porque los electrodos pueden estimular accidentalmente las neuronas equivocadas. La optogenética puede mejorar la estimulación cerebral profunda, identificando las rutas neuronales exactas que están funcionando mal al nivel de neuronas individuales.

Las víctimas de parálisis también se beneficiarían de esta nueva tecnología. Como hemos visto en el capítulo 4, algunos individuos tetrapléjicos han conseguido conectarse a un ordenador para controlar un brazo mecánico, pero como estos brazos no tienen sentido del tacto, acaban dejando caer o rompiendo el objeto que pretenden agarrar. «Gracias a la optogenética se podría enviar información directamente al cerebro desde sensores instalados en las puntas de los dedos prostéticos, lo que en principio proporcionaría un sentido del tacto de alta fidelidad» argumenta el doctor Krishna Shenoy, de Stanford.[10]

Además, la optogenética podría ayudar a esclarecer las rutas nerviosas que intervienen en el comportamiento humano. De hecho, ya existen planes para experimentar con esta técnica en cerebros humanos, sobre todo en el campo de las enfermedades mentales. Habrá obstáculos, por supuesto. En primer lugar, la técnica exige abrir el cráneo, y si las neuronas que se desean estudiar están en las profundidades del cerebro, el procedimiento puede ser aún más invasivo. Pero, además, hay que insertar en el cerebro finos alambres que puedan hacer brillar una luz sobre la neurona modificada para que desencadene la conducta deseada.

Cuando se hayan identificado estas rutas nerviosas, podremos también estimularlas, haciendo que los animales se comporten de maneras extrañas (por ejemplo, que los ratones corran en círculos). Aunque los científicos solo están empezando a rastrear las rutas nerviosas que gobiernan comportamientos animales sencillos, en el futuro se podría disponer de una enciclopedia de conductas, incluyendo las humanas. En malas manos, la optogenética se podría utilizar para controlar la conducta humana.

En general, las ventajas de la optogenética tienen mucho más peso que sus inconvenientes. Esta puede revelar las rutas cerebrales para tratar enfermedades mentales y otros trastornos. Asimismo, puede proporcionar a los científicos instrumentos con los que reparar los daños y tal vez curar enfermedades que antes se consideraban incurables. En un futuro próximo las ventajas serán pues todas positivas. Pero en un futuro más lejano, cuando se conozcan las rutas del comportamiento humano, la optogenética se podría utilizar también para controlar —o al menos modificar— la conducta humana.

CONTROL MENTAL EN EL FUTURO

En resumen, el uso de drogas y del hipnotismo por la CIA fue un fracaso. Se trataba de técnicas demasiado inestables e impredecibles para resultar útiles a los militares. Se pueden usar para inducir alucinaciones y crear dependencia, pero no han servido para borrar recuerdos, volver más dócil a la gente u obligar a las personas a realizar actos en contra de su voluntad. Los gobiernos seguirán intentándolo, pero el objetivo es muy evasivo. Hasta ahora, las drogas son un instrumento demasiado tosco para permitir controlar la conducta de los demás.

Pero también hay advertencias en contra. Carl Sagan menciona una situación de pesadilla que podría darse: supongamos que un dictador toma a los niños y les implanta electrodos en sus centros de «dolor» y «placer». Estos electrodos se pueden conectar mediante una conexión inalámbrica a los ordenadores del dictador, que podría controlar la conducta de sus súbditos apretando un botón.

Otra pesadilla podría consistir en insertar en el cerebro sondas que dominen nuestros deseos y tomen el control de nuestros músculos, obligándonos a realizar tareas que no queremos hacer. Los

trabajos del doctor Rodríguez Delgado eran rudimentarios, pero demostraron que los impulsos eléctricos aplicados en áreas motoras del cerebro pueden prevalecer sobre nuestros pensamientos conscientes, de modo que nuestros músculos ya no estén bajo nuestro control. El doctor Rodríguez Delgado solo pudo identificar unos cuantos comportamientos animales que se podían controlar con sondas eléctricas. En el futuro se podrían encontrar muchas más conductas susceptibles de ser controladas electrónicamente con un interruptor.

Si somos la persona controlada, puede que sea una experiencia desagradable. Aunque pensemos que somos los amos de nuestro cuerpo, en realidad nuestros músculos se activarían sin nuestro permiso y haríamos cosas en contra de nuestra voluntad. Los impulsos eléctricos que entran en el cerebro podrían ser más fuertes que los que enviamos conscientemente a nuestros músculos, y parecería que alguien ha secuestrado nuestro cuerpo. Nuestro propio cuerpo se convertiría en un objeto ajeno.

En principio, algunas versiones de esta pesadilla podrían ser posibles en el futuro. Pero también hay varios factores que podrían impedirlo. En primer lugar, esta es una tecnología que todavía está en su infancia, y no se sabe cómo se aplicará a la conducta humana, de manera que todavía hay mucho tiempo para controlar su desarrollo y tal vez crear medidas de seguridad para que no se utilice mal. En segundo lugar, un dictador podría decidir que la propaganda y la represión, los métodos habituales para controlar una población, son más baratas y eficaces que implantar electrodos en el cerebro de millones de niños, una técnica cara e invasiva.

En tercer lugar, en las sociedades democráticas debe producirse un vigoroso debate público acerca de las posibilidades y limitaciones de esta potente tecnología. Habrá que promulgar leyes para evitar el abuso de estos métodos sin que pierdan su capacidad de reducir el sufrimiento humano. La ciencia nos dará pronto un conocimiento nunca visto de las rutas nerviosas del cerebro. Habrá que trazar una línea divisoria entre las tecnologías capaces de beneficiar a la sociedad y aquellas capaces de controlarla. Y la clave para elaborar estas leyes es un público educado e informado.

Pero yo creo que el verdadero impacto de esta tecnología consistirá en liberar la mente, no en esclavizarla. Estas tecnologías dan esperanzas a los que están atrapados en enfermedades mentales. Aunque todavía no existe una cura permanente para estas dolencias, estas nuevas tecnologías nos han proporcionado un gran conocimiento sobre su origen y su progreso. Algún día, gracias a la genética, a fármacos y a una combinación de métodos de alta tecnología, encontraremos una manera de tratar y, con el tiempo, de curar estas antiguas enfermedades.

Una de las aplicaciones más recientes de estos nuevos conocimientos sobre el cerebro es el intento de comprender a personalidades históricas. Puede que los conocimientos de la ciencia moderna sean capaces de explicar los estados mentales de personajes del pasado. Y una de las figuras más intrigantes que se han analizado es Juana de Arco.

9

Estados alterados de conciencia

> Los enamorados y los locos tienen los cerebros tan en ebullición… El lunático, el amante y el poeta viven todos dominados por su imaginación.
>
> WILLIAM SHAKESPEARE,
> *El sueño de una noche de verano*

Era una joven campesina analfabeta que aseguraba oír voces que venían directamente de Dios. Juana de Arco se alzó desde la oscuridad para dirigir un ejército desmoralizado y llevarlo a victorias que cambiarían el curso de naciones enteras, convirtiéndola en una de las figuras más fascinantes, atractivas y trágicas de la historia.

Durante el caos de la guerra de los Cien Años, cuando el norte de Francia era devastado por las tropas inglesas y la monarquía francesa se batía en retirada, una muchacha de Orleans afirmó que Dios le había ordenado que condujera al ejército francés a la victoria. Sin nada que perder, Carlos VII le permitió comandar algunas de sus tropas. Ante el asombro y la maravilla de todos, logró una serie de victorias sobre los ingleses. Las noticias sobre la joven se difundieron con rapidez. Con cada victoria, su reputación aumentaba, hasta que se convirtió en una heroína del pueblo, que movilizaba a los franceses a su alrededor. Las tropas galas, que habían estado al borde del hundimiento total, obtuvieron unas victorias decisivas que prepararon el camino a la coronación del nuevo rey.

Pero fue traicionada y capturada por los ingleses. Estos se dieron cuenta de que Juana era una amenaza para ellos, ya que era un potente símbolo para los franceses y aseguraba que Dios la guiaba directamente, de modo que la sometieron a un juicio amañado. Tras unos concienzudos interrogatorios, se la declaró culpable de herejía y murió quemada en la hoguera en 1431, a los diecinueve años de edad.

Durante los siglos siguientes se han llevado a cabo cientos de intentos de comprender a esta extraordinaria adolescente. ¿Era una profetisa, una santa o una loca? Más recientemente, los científicos han intentado aplicar la psiquiatría moderna y la neurociencia para explicar la vida de

personajes históricos como Juana de Arco. Nadie pone en duda su sinceridad cuando aseguraba estar inspirada por Dios, pero muchos científicos han escrito que tal vez padeciera esquizofrenia, dado que oía voces. Otros no aceptan esta hipótesis, ya que las actas de su juicio que han perdurado hasta hoy revelan a una persona de agudo intelecto. Los ingleses le tendieron varias trampas teológicas. Le preguntaron, por ejemplo, si estaba en gracia de Dios. Si respondía que sí, sería una hereje, ya que nadie puede saber con seguridad si está en gracia de Dios. Y si decía que no, estaría confesando ser culpable de un fraude. De cualquier forma estaba perdida.

Ella replicó con una respuesta que dejó pasmado al público: «Si no lo estoy, que Dios me la conceda; y si lo estoy, que Dios me la mantenga». El notario del tribunal dejó escrito en el acta: «Los que la interrogaban quedaron estupefactos».

De hecho, las transcripciones de su interrogatorio son tan interesantes que George Bernard Shaw incluyó traducciones literales de las actas del juicio en su obra *Santa Juana*.

En tiempos más recientes ha surgido otra teoría acerca de aquella extraordinaria mujer. Es posible que padeciera una epilepsia del lóbulo temporal. Las personas con esta dolencia a veces sufren ataques o arrebatos, y algunas experimentan también un curioso efecto secundario que puede arrojar algo de luz sobre la estructura de las creencias humanas. Estos pacientes sufren «hiperreligiosidad», y no pueden evitar pensar que existe un espíritu o una presencia detrás de todo. Las ocurrencias casuales no lo son nunca, sino que tienen un profundo significado religioso. Algunos psicólogos han especulado que muchos de los profetas de la historia padecían lesiones epilépticas del lóbulo temporal, dado que estaban convencidos de que hablaban con Dios. Según el neurólogo David Eagleman: «Parece que una buena parte de los profetas, mártires y líderes de la historia padecieron epilepsia del lóbulo temporal. Pensemos en Juana de Arco, una muchacha de dieciséis años que cambió el rumbo de la guerra de los Cien Años porque creía (y convenció de ello a los soldados franceses) que oía las voces del arcángel San Miguel, santa Catalina de Alejandría, santa Margarita y san Gabriel».[1]

Este curioso efecto se había observado ya en 1892, cuando los tratados sobre enfermedades mentales mencionaban una conexión entre la «emotividad religiosa» y la epilepsia. La primera descripción clínica la hizo en 1975 el neurólogo Norman Geschwind, del Hospital para Veteranos de Boston. Observó que los epilépticos que sufrían fallos eléctricos en el lóbulo temporal izquierdo solían tener experiencias religiosas y conjeturó que la tormenta eléctrica en el cerebro era de algún modo la causa de aquellas obsesiones religiosas.

El doctor V. S. Ramachandran calcula que entre el 30 y el 40 por ciento de los epilépticos temporales que él ha visitado sufren hiperreligiosidad. Según él, «a veces es un Dios personal; otras veces es una sensación más difusa de unidad con el cosmos.[2] Todo parece rebosante de significado. El paciente dice: “Por fin veo cómo es todo en realidad, doctor, ahora comprendo a Dios, entiendo mi posición en el universo, el plan cósmico”».[3]

También comenta que muchos de esos individuos son sumamente firmes y convincentes en sus creencias. «A veces me pregunto si estos pacientes que sufren epilepsia del lóbulo temporal tienen acceso a otra dimensión de la realidad, una especie de agujero de gusano que lleva a un universo paralelo. Pero normalmente no les cuento esto a mis colegas, para que no duden de mi cordura.» Ramachandran ha experimentado con pacientes de epilepsia del lóbulo temporal y ha confirmado que estos individuos tienen una fuerte reacción emocional ante la palabra «Dios», pero no frente a las neutrales. Esto significa que la conexión entre la hiperreligiosidad y la epilepsia del lóbulo temporal es real, no meramente anecdótica.

El psicólogo Michael Persinger afirma que con cierto tipo de estimulación eléctrica transcraneana (el llamado simulador magnético transcraneano, o SMT) se puede inducir deliberadamente el efecto de estas lesiones epilépticas. De ser así, ¿se podrían usar campos magnéticos para alterar las creencias religiosas de una persona?

En los estudios del doctor Persinger, el sujeto se pone un casco (lo llaman «el casco de Dios») que contiene un aparato que puede enviar corrientes magnéticas a partes concretas del cerebro. Después, cuando se entrevista al sujeto, suele decir que ha estado en presencia de algún gran espíritu. David Biello, en un artículo de *Scientific American Mind*, señala que «durante los períodos de estimulación de tres minutos, los sujetos afectados traducían esta percepción de lo divino a su propio lenguaje cultural y religioso, llamándolo Dios, Buda, presencia benevolente o la maravilla del universo».[4] Dado que este efecto es reproducible a voluntad, indica que tal vez el cerebro esté programado de alguna manera para responder a sentimientos religiosos.

Algunos científicos han ido más lejos, especulando acerca de la existencia de un «gen de Dios» que predispone al cerebro a ser religioso. Dado que todas las sociedades han creado algún tipo de religión, parece plausible que nuestra capacidad de responder a los sentimientos religiosos esté genéticamente programada en nuestro genoma. (Mientras tanto, algunos teóricos de la evolución han intentado explicar estos hechos diciendo que la religión sirvió para aumentar las posibilidades de supervivencia de los primeros humanos. La religión ayuda a unir a individuos que no se llevan bien en una tribu cohesiva, con una mitología común, lo que aumenta las posibilidades de que la tribu se mantenga unida y sobreviva.)

¿Podría un experimento como el del «casco de Dios» cambiar las creencias religiosas de una persona? ¿Y podría un aparato de imagen por resonancia magnética registrar la actividad cerebral de alguien que experimenta una revelación religiosa?

Para poner a prueba estas ideas, el doctor Mario Beauregard, de la Universidad de Montreal, obtuvo la colaboración de un grupo de quince monjas carmelitas que accedieron a meter la cabeza en un aparato de imagen por resonancia magnética. Para poder participar en el experimento, todas ellas debían haber tenido «una experiencia de intensa unión con Dios».[5]

Al principio, el doctor Beauregard esperaba que las monjas experimentaran una comunión mística

con Dios que se pudiera registrar con un escaneo de imagen por resonancia magnética. Pero estar dentro de un aparato de imagen por resonancia magnética, rodeado por toneladas de bobinas magnéticas y equipo de alta tecnología, no es la situación ideal para una epifanía religiosa. Lo más que pudieron hacer fue evocar recuerdos de experiencias religiosas previas. «A Dios no se le puede hacer venir a voluntad», explicó una de las monjas.

El resultado final fue irregular y no concluyente, pero varias áreas del cerebro se activaron claramente durante este experimento:

- El núcleo caudado, que participa en el aprendizaje y posiblemente en el enamoramiento. (¿Es posible que las monjas sintieran un amor incondicional por Dios?)
- La ínsula, que supervisa las sensaciones corporales y las emociones sociales. (¿Tal vez las monjas se sentían más unidas a las otras cuando intentaban acercarse a Dios?)
- El lóbulo parietal, que ayuda a procesar la conciencia espacial. (¿Las monjas se sentían en presencia física de Dios?)

El doctor Beauregard tuvo que admitir que se activaban tantas áreas del cerebro, con tantas interpretaciones posibles, que no podía decir con seguridad si la hiperreligiosidad se puede inducir. No obstante, para él estaba claro que los sentimientos religiosos de las monjas se reflejaban en sus escáneres cerebrales.

¿Alteró este experimento la fe de las monjas en Dios? No. De hecho, las monjas llegaron a la conclusión de que Dios había puesto esta «radio» en nuestro cerebro para que pudiéramos comunicarnos con Él.

Su conclusión era que Dios creó a los seres humanos con esta capacidad, y que el cerebro tiene una antena divina que Dios nos ha dado para que podamos sentir Su presencia. David Biello concluye así: «Aunque los ateos podrían argumentar que encontrar espiritualidad en el cerebro implica que la religión no es más que un delirio divino, las monjas estaban entusiasmadas con sus escaneos cerebrales, precisamente por la razón contraria: les parecía una confirmación de las interacciones de Dios con ellas».[6] Y la conclusión del doctor Beauregard fue que «si eres ateo y vives cierto tipo de experiencia, la relacionarás con la magnificencia del universo. Si eres cristiano, la asociarás con Dios. Quién sabe. Puede que sea la misma cosa».[7]

De manera similar, el doctor Richard Dawkins, biólogo de la Universidad de Oxford y ateo declarado, se puso una vez el «casco de Dios» para ver si sus creencias religiosas cambiaban.

No cambiaron.

En conclusión, aunque la hiperreligiosidad puede ser inducida por la epilepsia del lóbulo temporal e incluso por campos magnéticos, no existen pruebas convincentes de que estos últimos puedan alterar las creencias religiosas de una persona.

ENFERMEDADES MENTALES

Existe otro estado alterado de conciencia que provoca mucho sufrimiento, tanto a la persona que lo experimenta como a su familia, y es la enfermedad mental. ¿Pueden los escaneos cerebrales y la alta tecnología revelar el origen de estas dolencias y tal vez ayudar a encontrar una cura? De ser así, se podría eliminar una de las mayores fuentes de sufrimiento humano.

Por ejemplo, a lo largo de la historia, el tratamiento de la esquizofrenia ha sido brutal y rudimentario. Las personas que padecen este debilitante trastorno mental, que aflige aproximadamente al 1 por ciento de la población, suelen oír voces imaginarias y sufrir delirios paranoicos y pensamiento desorganizado. Durante toda la historia, se las consideró «poseídas» por el demonio, y se las expulsaba, encerraba o asesinaba. En las novelas góticas se habla a veces del extraño pariente demente que vive en la oscuridad de una habitación oculta o de un sótano. En los Evangelios se cita un incidente en el que Jesús se encontró con dos hombres poseídos. Los demonios le rogaron que les dejase entrar en un rebaño de cerdos. Jesús dijo: «Id». Cuando los demonios entraron en los cerdos, toda la piara se precipitó hacia la orilla y se ahogó en el mar.

Incluso en la actualidad se sigue viendo gente con los síntomas clásicos de la esquizofrenia caminando por las calles de nuestras ciudades y discutiendo consigo misma. Los primeros indicios suelen aparecer al final de la adolescencia (en los hombres) o a los veintipocos años (en las mujeres). Algunos esquizofrénicos han llevado vidas normales e incluso han obtenido logros notables, hasta que las voces se apoderan por fin de ellos. El caso más famoso es el de John Nash, Premio Nobel de Economía en 1994, que fue interpretado por Russell Crowe en la película *Una mente maravillosa*. A los veintitantos años, Nash hizo trabajos pioneros en economía, teoría de juegos y matemática pura en la Universidad de Princeton. Uno de sus tutores escribió una carta de recomendación para él con una sola línea: «Este hombre es un genio». Lo más sorprendente es que fuera capaz de funcionar a un nivel intelectual tan alto mientras era acosado por delirios. Por fin fue hospitalizado cundo sufrió una crisis a los treinta y un años, y pasó muchos años en sanatorios o vagando por el mundo, con miedo de que agentes comunistas lo mataran.

Por el momento no existe una manera precisa y universalmente aceptada de diagnosticar las enfermedades mentales. Pero hay esperanzas de que algún día los científicos utilicen escáneres cerebrales y otros aparatos de alta tecnología para crear instrumentos de diagnóstico precisos. Hasta ahora el progreso en el tratamiento de enfermedades mentales ha sido dolorosamente lento. Tras siglos de sufrimiento, las víctimas de la esquizofrenia tuvieron sus primeras señales de alivio en la década de 1950, cuando se descubrieron accidentalmente drogas antipsicóticas como la torazina, que podían controlar milagrosamente, y a veces incluso eliminar, las voces que atormentaban a los

enfermos mentales.

Se cree que estas sustancias actúan regulando el nivel de ciertos neurotransmisores, como la dopamina. Concretamente, estos productos bloquean el funcionamiento de los receptores D2 de algunas células nerviosas, reduciendo así el nivel de dopamina. (Esta teoría, según la cual las alucinaciones se deben en parte a un exceso de dopamina en el sistema límbico y la corteza prefrontal, explicaba también que las personas que toman anfetaminas experimentan alucinaciones similares.)

La dopamina, al ser tan imprescindible para las sinapsis del cerebro, interviene también en otros trastornos. Según una teoría, el párkinson se agrava si hay escasez de dopamina en las sinapsis, mientras que su abundancia excesiva puede hacer que se manifieste el síndrome de Tourette. (Las personas con síndrome de Tourette tienen tics y movimientos faciales extraños. Una pequeña proporción de ellas habla descontroladamente, diciendo palabras obscenas y comentarios ofensivos y despectivos.)

Más recientemente, los científicos se han fijado en otro posible culpable, el nivel de glutamato en el cerebro. Una razón para creer esto es que se sabe que el PCP («polvo de ángel») provoca alucinaciones similares a las de los esquizofrénicos, bloqueando un receptor de glutamato llamado NMDA. La clozapina, un nuevo fármaco para la esquizofrenia que estimula la producción de glutamato, parece muy prometedor.

Sin embargo, estos fármacos antipsicóticos no son un curalotodo. Aproximadamente en el 20 por ciento de los casos, estas sustancias hacen desaparecer todos los síntomas. Cerca de dos tercios encuentran algo de alivio en sus síntomas, pero el resto no nota ningún efecto. (Según una teoría, las drogas antipsicóticas imitan a una sustancia natural que falta en el cerebro de estas personas, pero no es una copia exacta. Por eso el paciente tiene que probar varios de estos fármacos antipsicóticos, casi por ensayo y error.[8] Además, pueden tener efectos secundarios desagradables, por lo que los esquizofrénicos dejan de tomarlos y sufren una recaída.)

En fechas recientes, los escaneos cerebrales realizados a esquizofrénicos mientras sufrían alucinaciones auditivas han ayudado a explicar este antiguo trastorno. Por ejemplo, cuando hablamos con nosotros mismos en silencio, ciertas partes del cerebro se iluminan en la imagen por resonancia magnética, sobre todo en el lóbulo temporal (por ejemplo, en el área de Wernicke). Cuando un esquizofrénico oye voces, se activan esas mismas áreas del cerebro. El cerebro se esfuerza mucho por construir una narración consistente, y por eso los esquizofrénicos intentan dar sentido a esas voces no autorizadas, creyendo que tienen su origen en extrañas fuentes, como los marcianos que les envían en secreto ondas de pensamiento a su cerebro. Según el doctor Michael Sweeney, de la Universidad Estatal de Ohio, «las neuronas programadas para la sensación de sonido se activan solas, como los trapos empapados de gasolina que empiezan a arder espontáneamente en un garaje caliente y oscuro. En ausencia de imágenes y sonidos en el entorno, el cerebro del esquizofrénico crea una

potente ilusión de realidad».[9]

Lo más curioso es que esas voces parecen venir de una tercera parte que da órdenes al sujeto, las cuales generalmente son mundanas pero a veces son violentas. Mientras tanto, los centros de simulación de la corteza prefrontal parecen estar en piloto automático, así que en cierto modo es como si la conciencia de un esquizofrénico hiciera el mismo tipo de simulaciones que hacemos todos, solo que sin su permiso. La persona está literalmente hablando consigo misma sin saberlo.

ALUCINACIONES

La mente genera alucinaciones por sí sola constantemente, pero la mayor parte son fáciles de controlar. Vemos imágenes que no existen u oímos sonidos espurios, y por eso la corteza cingulada anterior es imprescindible para distinguir lo real de lo fabricado. Esta parte del cerebro nos ayuda a distinguir entre los estímulos exteriores y los generados desde dentro por la mente misma.

Sin embargo, se cree que en los esquizofrénicos este sistema está dañado, y por eso no pueden distinguir las voces reales de las imaginarias. (La corteza cingulada anterior es importantísima porque se encuentra en un lugar estratégico, entre la corteza prefrontal y el sistema límbico. La conexión entre estas dos áreas del cerebro es una de las más importantes, porque una de ellas controla el pensamiento racional y la otra, las emociones.)

Hasta cierto punto, las alucinaciones se pueden crear a voluntad. Pueden ocurrir de manera natural si alguien permanece en una habitación completamente a oscuras, en una cámara de aislamiento o en un entorno siniestro con ruidos extraños. Estos son ejemplos de «jugarretas que nos hace la vista». En realidad, el cerebro se está engañando a sí mismo, creando falsas imágenes, al intentar encontrarle sentido al mundo e identificar peligros. Este efecto se llama «pareidolia». Cada vez que miramos las nubes en el cielo, vemos imágenes de animales, personas e incluso personajes de dibujos animados. No podemos evitarlo, está programado en nuestros cerebros.

En cierto sentido, todas las imágenes que vemos, tanto las reales como las virtuales, son alucinaciones, porque el cerebro está constantemente creando imágenes falsas para «llenar los vacíos». Como hemos visto, hasta las imágenes reales están fabricadas en parte. Pero en los enfermos mentales es posible que algunas áreas del cerebro, como la corteza cingulada anterior, estén dañadas, y por eso el cerebro confunde la realidad con la fantasía.

LA MENTE OBSESIVA

Otra enfermedad en la que se pueden usar fármacos para curarla es el trastorno obsesivo-compulsivo

(TOC). Ya hemos mencionado que la conciencia humana implica la mediación entre varios mecanismos de retroalimentación. Pero a veces, estos se encuentran atascados en la posición «ON» (activa).

Uno de cada cuarenta estadounidenses padece un trastorno obsesivo-compulsivo. Los casos pueden ser leves, como el de las personas que tienen que volver constantemente a su casa para comprobar que han cerrado la puerta. El detective Adrian Monk, de la serie de televisión *Monk*, tiene un caso leve de trastorno obsesivo-compulsivo. Sin embargo, este trastorno puede llegar a ser tan grave que los pacientes se rascan o se lavan la piel hasta dejarla ensangrentada y en carne viva. Se sabe que algunas personas con trastorno obsesivo-compulsivo han repetido conductas obsesivas durante horas, lo que hace difícil que puedan mantener un empleo o formar una familia.

Normalmente, estos tipos de conducta obsesiva, si son moderados, en realidad son beneficiosos porque nos ayudan a mantenernos limpios, sanos y seguros. Por eso precisamente evolucionaron estas conductas. Pero una persona con trastorno obsesivo-compulsivo no puede detener este comportamiento, pues se escapa de su control.

Los escaneos cerebrales están revelando la forma en que esto ocurre. Demuestran que al menos tres zonas del cerebro que normalmente nos ayudan a mantenernos sanos se quedan atascadas en un bucle de retroalimentación. La primera es la corteza orbitofrontal que, ya lo vimos en el capítulo 1, puede actuar como mecanismo de comprobación de datos, asegurándose de que hemos cerrado bien la puerta y nos hemos lavado las manos. Es la que registra ese «Hum, algo está mal». El segundo es el núcleo caudado, situado en los ganglios basales, que controla actividades aprendidas que son automáticas. Le indica al cuerpo que «haga algo». Por último tenemos la corteza cingulada, que registra las emociones conscientes, incluyendo la incomodidad. Es la que dice: «Todavía me siento mal».

El profesor de psiquiatría Jeffrey Schwartz, de la Universidad de California, ha intentado combinar todo esto para explicar cómo el trastorno obsesivo-compulsivo se nos escapa de las manos. Imaginemos que queremos lavarnos las manos. La corteza orbitofrontal reconoce que algo va mal, que las manos están sucias. El núcleo caudado interviene y empezamos automáticamente a lavarnos las manos. Entonces, la corteza cingulada registra satisfacción porque las manos están limpias.

En una persona con trastorno obsesivo-compulsivo este circuito se altera. Aun después de notar que tiene las manos sucias y de habérselas lavado, sigue teniendo la incómoda sensación de que algo está mal, de que todavía están sucias. Y se queda atrapado en un bucle de retroalimentación que no se detiene.

En la década de 1960, el fármaco hidrocloruro de clomipramina empezó a proporcionar algo de alivio a los pacientes de trastorno obsesivo-compulsivo. Este y otros fármacos inventados desde entonces elevan los niveles del neurotransmisor serotonina en el cuerpo. En las pruebas clínicas pueden reducir los síntomas del trastorno obsesivo-compulsivo hasta en un 60 por ciento. El doctor

Schwartz indica que: «El cerebro va a hacer lo que tiene que hacer, pero no hay que dejar que nos avasalle».[10] Estos fármacos no han supuesto ninguna cura, pero han aportado cierto alivio a los pacientes de trastorno obsesivo-compulsivo.

TRASTORNO BIPOLAR

Otra modalidad común de enfermedad mental es el trastorno bipolar, en el que la persona padece arrebatos extremos de optimismo desatado e ilusorio, seguidos por una caída en períodos de profunda depresión. Parece que el trastorno bipolar es cosa de familia y, curiosamente, se da con frecuencia en los artistas; es posible que sus grandes obras de arte se crearan durante las explosiones de creatividad y optimismo. Una lista de personas creativas afectadas por el trastorno bipolar parecería un «quién es quién» de celebridades de Hollywood, músicos, artistas y escritores. Aunque el litio parece controlar muchos de los síntomas del trastorno bipolar, las causas no están del todo claras.

Una teoría propone que el trastorno bipolar puede estar causado por un desequilibrio entre los hemisferios izquierdo y derecho. Según el doctor Michael Sweeney, «los escaneos cerebrales han inducido a los investigadores a asignar en general al hemisferio derecho las emociones negativas como la tristeza y al hemisferio izquierdo las positivas como la alegría. Durante por lo menos un siglo, los neurólogos han observado una correlación entre las lesiones en el hemisferio cerebral izquierdo y los estados de ánimo negativos, incluyendo la depresión y el llanto incontrolable. En cambio, las lesiones en el hemisferio derecho se han asociado con una amplia variedad de emociones positivas».[11]

Así pues, el hemisferio izquierdo, que es analítico y controla el lenguaje, tiende a volverse maníaco si se le deja a su aire. Por el contrario, el hemisferio derecho es holístico y tiende a mantener a raya estas manías. El doctor V. S. Ramachandran ha escrito que «si se le deja sin control, es muy probable que el hemisferio izquierdo convierta a la persona en maníaca o víctima de un autoengaño […] Por eso parece razonable postular la existencia de un “abogado del diablo” en el hemisferio derecho, que te permite adoptar una visión de ti mismo más distanciada y objetiva (alocéntrica)».[12]

Si la conciencia humana implica la simulación del futuro, debe tener en cuenta los resultados de los acontecimientos futuros con algunas probabilidades. Por lo tanto, necesita un delicado equilibrio entre el optimismo y el pesimismo para estimar las posibilidades de éxito o fracaso de ciertos cursos de acción.

Pero, en cierto sentido, el precio que pagamos por ser capaces de simular el futuro es la depresión. Nuestra conciencia tiene la capacidad de conjurar toda clase de horrorosos resultados para el futuro

y, por lo tanto, es consciente de todas las cosas malas que podrían ocurrir, aun cuando no sean realistas.

Muchas de estas teorías son difíciles de verificar, porque los escaneos cerebrales de personas con depresión clínica indican que son muchas las áreas del cerebro afectadas. Es difícil precisar la fuente del problema, pero en los depresivos clínicos parece que se ha suprimido la actividad en los lóbulos parietal y temporal, lo que podría indicar que la persona se ha aislado del mundo exterior y está viviendo en su propio mundo interior. En particular, la corteza ventromedial parece desempeñar un papel importante. Al parecer, esta zona crea una sensación de significado y unidad del mundo, de manera que todo parece tener un propósito. La hiperactividad en esta zona puede causar manías, en las que los pacientes piensan que son omnipotentes. La baja actividad en esta zona se ha asociado con depresiones y con la sensación de que la vida no tiene sentido.[13] De modo que es posible que un defecto en esta zona sea responsable de algunos cambios de estado de ánimo.

TEORÍA DE LA CONCIENCIA Y LA ENFERMEDAD MENTAL

¿Y cómo se puede aplicar la teoría espaciotemporal de la conciencia a las enfermedades mentales? ¿Puede proporcionarnos un mayor conocimiento de este trastorno? Ya hemos definido la conciencia humana como el proceso de crear un modelo de nuestro mundo en el espacio y en el tiempo (en especial, sobre el futuro), evaluando muchos bucles de retroalimentación en varios parámetros, con el fin de lograr un objetivo.

Hemos sugerido que la función clave de la conciencia humana consiste en simular el futuro, pero esta no es una tarea trivial. El cerebro consigue esto haciendo que los bucles de retroalimentación se revisen y se equilibren unos a otros. Por ejemplo, en un consejo de administración, un consejero delegado experto procura sacar a la luz los desacuerdos entre los miembros del personal. Él procura agudizar las opiniones en conflicto, con el fin de cribar los diferentes argumentos y después tomar la decisión definitiva. De la misma manera, las diferentes áreas del cerebro hacen estimaciones divergentes sobre el futuro, que se transmiten a la corteza prefrontal dorsolateral, el consejero delegado del cerebro. Allí se evalúan y sopesan estas estimaciones enfrentadas hasta llegar a una decisión final equilibrada.

Ahora podemos aplicar la teoría espaciotemporal de la conciencia para que nos proporcione una definición de casi todas las modalidades de enfermedad mental.

En gran medida, la enfermedad mental tiene como causa una perturbación de los delicados controles y equilibrios entre bucles rivales de retroalimentación que simulan el futuro (generalmente, porque una región del cerebro está demasiado activa o demasiado inactiva).

Como el consejero delegado de la mente (la corteza prefrontal dorsolateral) ya no dispone de una valoración equilibrada de los datos a causa de esta perturbación en los bucles de retroalimentación, empieza a sacar conclusiones extrañas y a actuar de maneras extravagantes. La ventaja de esta teoría es que es comprobable. Si el cerebro de un enfermo mental presenta un comportamiento disfuncional, hay que hacer un escaneo de imagen por resonancia magnética de su cerebro, evaluando el funcionamiento de sus bucles de retroalimentación, y compararlo con los escáneres de imágenes por resonancia magnética de personas normales. Si esta teoría es correcta, el comportamiento disfuncional (por ejemplo, oír voces o estar obsesionado) se podrá relacionar con el mal funcionamiento de los controles y equilibrios entre bucles de retroalimentación. La teoría quedaría refutada si esta conducta disfuncional es totalmente independiente de la interacción entre estas áreas del cerebro.

Disponiendo de esta nueva teoría sobre la enfermedad mental, ahora podemos aplicarla a los diversos tipos de trastornos mentales, resumiendo lo dicho anteriormente desde esta perspectiva.

Ya hemos visto que el comportamiento obsesivo de las personas que padecen trastorno obsesivo-compulsivo se puede manifestar cuando se alteran los controles y equilibrios entre varios bucles de retroalimentación: uno registra que algo va mal, otro emprende una acción correctiva y un tercero anuncia que ya se han tomado medidas en el asunto. El fallo de los controles y equilibrios en este ciclo puede hacer que el cerebro se quede atascado en un círculo vicioso, de modo que la mente nunca llegue a creer que el problema se haya resuelto.

Las voces que oyen los esquizofrénicos podrían surgir cuando varios bucles de retroalimentación ya no se equilibran unos a otros. Un bucle genera falsas voces en la corteza temporal (es decir, el cerebro se está hablando a sí mismo). Las alucinaciones auditivas y visuales suele controlarlas la corteza cingulada anterior, y así una persona sana puede diferenciar las voces reales de las ficticias. Pero si esta área del cerebro no funciona como es debido, el cerebro se inunda de voces que él cree que son reales. Esto puede dar lugar a una conducta esquizofrénica.

De manera similar, los vaivenes maniacodepresivos de una persona con trastorno bipolar se pueden atribuir a un desequilibrio entre los hemisferios izquierdo y derecho. La necesaria interacción entre apreciaciones optimistas y pesimistas se desequilibra, y la persona oscila violentamente entre estos dos estados de ánimo divergentes.

También la paranoia se puede contemplar aquí. Es el resultado de un desequilibrio entre la amígdala (que registra el miedo y exagera los peligros) y la corteza prefrontal, que evalúa estos peligros y los pone en perspectiva.

Hay que insistir en que la evolución nos ha proporcionado estos bucles de retroalimentación por una razón: para protegernos. Nos mantienen limpios, sanos y socialmente conectados. El problema surge cuando se trastorna la dinámica entre bucles contrarios.

Esta teoría se podría resumir más o menos de la siguiente manera:

Enfermedad mental	*Bucle 1*	*Bucle 2*	*Zona del cerebro afectada*
Paranoia	Percibir un peligro	Descartar peligros	Amígdala/lóbulo prefrontal
Esquizofrenia	Crear voces	Descartar voces	Lóbulo temporal izquierdo/corteza cingulada anterior
Trastorno bipolar	Optimismo	Pesimismo	Hemisferios izquierdo/derecho
TOC	Algo va mal	Satisfacción	Corteza orbitofrontal/núcleo caudado/ cingulada anterior

Según la teoría espaciotemporal de la conciencia, muchos tipos de enfermedades mentales se caracterizan por la perturbación de los controles y equilibrios entre bucles de retroalimentación del cerebro que simulan el futuro y que discrepan unos de otros. Poco a poco, los escaneos cerebrales van identificando estas regiones. Sin duda, un conocimiento más completo de las enfermedades mentales revelará la intervención de muchas más áreas del cerebro. Este es solo un esquema preliminar.

ESTIMULACIÓN CEREBRAL PROFUNDA

Aunque la teoría espaciotemporal de la conciencia puede proporcionarnos información sobre el origen de las enfermedades mentales, no nos dice cómo idear nuevas terapias y remedios.

¿Cómo tratará la ciencia las enfermedades mentales en el futuro? Es difícil de predecir, ya que ahora sabemos que la enfermedad mental no es una sola categoría, sino toda una gama de trastornos que pueden afectar a la mente de una cantidad asombrosa de maneras. Además, la ciencia que estudia las enfermedades mentales está todavía en su infancia, con grandes territorios todavía inexplorados y sin explicar.

Pero ahora se está probando un nuevo método para tratar la infinita angustia de las personas que padecen uno de los trastornos mentales más comunes y más tozudamente persistentes, la depresión, que aflige a veinte millones de personas en Estados Unidos. A su vez, el 10 por ciento de estas personas sufren una forma incurable de depresión que ha resistido todos los avances de la medicina.[14] Una manera directa de tratarlas, que parece muy prometedora, es implantar sondas en las profundidades del cerebro para influir en ciertas regiones cerebrales.

Una pista importante para tratar este trastorno la descubrieron la doctora Helen Mayberg y sus colaboradores, que entonces trabajaban en la Facultad de Medicina de la Universidad de Washington. Por medio de escaneos cerebrales, identificaron una área del cerebro llamada «área de Brodmann 25» (también llamada «región subcallosa cingulada»), en la corteza cerebral, que está consistentemente hiperactiva en los individuos depresivos que han resistido todo tipo de tratamientos.

Estos científicos recurrieron a la estimulación cerebral profunda (DBS, por sus siglas en inglés: *Deep Brain Stimulation*) en esta zona, insertando una pequeña sonda y aplicando una descarga eléctrica, más o menos como un marcapasos. La estimulación cerebral profunda ha tenido un éxito asombroso en el tratamiento de varios trastornos. En la pasada década, la estimulación cerebral

profunda fue utilizada en cuarenta mil pacientes de enfermedades relacionadas con la motricidad, como el párkinson y la epilepsia, que provoca movimientos descontrolados del cuerpo. Entre el 60 y el 100 por ciento de los pacientes muestran una significativa mejora en el control de sus manos temblorosas. Solo en Estados Unidos, más de doscientos cincuenta hospitales aplican tratamientos de estimulación cerebral profunda.

La doctora Mayberg tuvo la idea de aplicar estimulación cerebral profunda directamente al área de Brodmann 25 para tratar a doce pacientes con depresión clínica y que no habían mostrado ninguna mejora tras el uso exhaustivo de fármacos, psicoterapia y electrochoques.

Descubrieron que ocho de los doce individuos con depresión clínica progresaban inmediatamente. De hecho, su éxito fue tan asombroso que otros equipos se apresuraron a reproducir sus resultados usando la misma técnica en otros trastornos mentales. En la actualidad se está aplicando estimulación cerebral profunda a treinta y cinco pacientes en la Universidad de Emory y a treinta en otras instituciones.

Según la doctora Mayberg, «la depresión 1.0 era psicoterapia: gente discutiendo sobre quién tiene la culpa. La depresión 2.0 era la idea de que se trata de un desequilibrio químico. Esta es la depresión 3.0. Lo que ha cautivado a todo el mundo es que separando los componentes de una conducta compleja se obtiene una nueva manera de pensar acerca de ella».[15]

Aunque la estimulación cerebral profunda ha tenido un éxito notable en el tratamiento de individuos deprimidos, todavía queda mucho trabajo por hacer. En primer lugar, no está claro por qué funciona la estimulación cerebral profunda. Se cree que destruye o desactiva zonas hiperactivas del cerebro (como en el párkinson y el área de Brodmann 25) y por eso solo es efectiva contra dolencias causadas por la hiperactividad. En segundo lugar, hay que mejorar la precisión de este instrumento. Aunque se ha utilizado para tratar una variedad de trastornos cerebrales, como el dolor en los miembros fantasmas (cuando una persona siente dolor en un miembro que ha sido amputado), el síndrome de Tourette y el trastorno obsesivo-compulsivo, el electrodo que se inserta en el cerebro no es preciso y puede afectar a varios millones de neuronas en lugar de solo al puñado de neuronas responsables del trastorno.

La eficacia de esta terapia solo mejorará con el tiempo. Utilizando tecnología microelectromecánica se pueden crear electrodos microscópicos capaces de estimular únicamente unas pocas neuronas cada vez. La nanotecnología también hará posibles las nanosondas nerviosas del grosor de una molécula, como en los nanotubos de carbono. Y a medida que aumente la sensibilidad de la imagen por resonancia magnética, tendremos la capacidad de guiar estos electrodos a áreas más precisas del cerebro.

EL DESPERTAR DE UN COMA

La estimulación cerebral profunda se ha ramificado en varias vías de investigación, que incluyen un efecto secundario beneficioso: aumentar las células de memoria del hipocampo. Pero otra de sus aplicaciones es reanimar a algunos individuos que están en coma.

El coma representa tal vez una de las formas más controvertidas de conciencia, que a veces es motivo de titulares de prensa. El caso de Terri Schiavo, por ejemplo, fascinó al público. Debido a un ataque al corazón, esta mujer sufrió una falta de oxígeno que le causó masivas lesiones cerebrales. Como consecuencia, Schiavo había estado en coma desde 1990. Su marido, con la aprobación de los médicos, quería permitirle la dignidad de morir en paz. Pero la familia de ella decía que era una crueldad «desenchufar» a una persona que todavía presentaba algunas respuestas a los estímulos y algún día podría reanimarse milagrosamente. Alegaban que en el pasado se habían dado casos sensacionales de pacientes en coma que recuperaron repentinamente la conciencia tras muchos años en estado vegetativo.

Para zanjar la cuestión se recurrió a los escaneos cerebrales de Terri Schiavo. En 2003, una mayoría de neurólogos, tras examinar sus tomografías axiales computarizadas (TAC), llegaron a la conclusión de que el daño en el cerebro era tan extenso que nunca podría volver en sí. Se encontraba en un estado vegetativo permanente (PUS, por sus siglas en inglés: *Permanent Vegetative State*). Tras su muerte en 2005, una autopsia confirmó estos resultados: no había posibilidad de reanimarla.

Pero en otros casos de pacientes en coma, los escáneres cerebrales muestran que el daño no es tan grave, y que todavía existe una pequeña posibilidad de recuperación. En el verano de 2007, un hombre de Cleveland despertó y saludó a su madre tras ser sometido a estimulación cerebral profunda. El hombre había sufrido daños cerebrales ocho años atrás y había caído en un profundo coma conocido como «estado de mínima conciencia».

El doctor Ali Rezai dirigió al equipo de médicos que realizó la operación. Insertaron un par de cables en el cerebro del paciente hasta llegar al tálamo, que, como hemos visto, es la puerta de entrada al cerebro, donde se empieza a procesar la información sensorial. Enviando una corriente de bajo voltaje a través de estos cables, los médicos consiguieron estimular el tálamo, lo que a su vez despertó al hombre de su profundo coma. (Por lo general, enviar electricidad a determinada área del cerebro hace que esa parte se apague, pero en algunas circunstancias puede hacer que las neuronas entren en acción.)

Las mejoras en la tecnología de la estimulación cerebral profunda podrían hacer que aumentara el número de éxitos en diferentes campos. En la actualidad, el diámetro de un electrodo de estimulación cerebral profunda mide aproximadamente 1,5 milímetros, pero cuando se inserta en el cerebro puede tocar un millón de neuronas y causar hemorragias y daños en los vasos sanguíneos. De hecho, del 1 al 3 por ciento de los pacientes a los que se aplica la estimulación cerebral profunda sufren hemorragias que podrían convertirse en derrames o ictus.[16] Además, la carga eléctrica que transmiten

las sondas de estimulación cerebral profunda es aún muy tosca, con un ritmo de pulsación constante. Con el tiempo, los médicos podrán ajustar la carga eléctrica que llevan los electrodos, de modo que cada sonda esté adaptada a una persona y a una dolencia concretas. La próxima generación de sondas de estimulación cerebral profunda será más segura y más precisa.

GENÉTICA DE LAS ENFERMEDADES MENTALES

Otra vía para comprender y en su momento tratar las enfermedades mentales es rastrear sus raíces genéticas. Se han hecho muchos intentos en este campo, con resultados irregulares y decepcionantes. Existen considerables evidencias de que la esquizofrenia y el trastorno bipolar se repiten en las mismas familias, pero los intentos de encontrar los genes comunes a todos estos individuos no han sido concluyentes. En algunas ocasiones, los científicos han estudiado el árbol genealógico de ciertos individuos aquejados de enfermedades mentales y han encontrado un gen que destacaba, pero los intentos de generalizar este resultado a otras familias han fracasado casi siempre. Como máximo, los científicos han llegado a la conclusión de que para desencadenar una enfermedad mental se necesitan factores ambientales, además de una combinación de varios genes. Sin embargo, en general se aceptaba que cada trastorno tenía una base genética propia.

Pero, en 2012, uno de los estudios más completos que jamás se han realizado ha demostrado que, después de todo, podría existir un factor genético común a las enfermedades mentales. Científicos de la Facultad de Medicina de Harvard y del Hospital General de Massachusetts analizaron a sesenta mil personas de todo el mundo y descubrieron que existía una conexión genética entre cinco de las principales enfermedades mentales: la esquizofrenia, el trastorno bipolar, el autismo, la depresión severa y el trastorno de déficit de atención con hiperactividad (TDAH). En conjunto, representan una importante fracción del total de pacientes con enfermedades mentales.

Tras un exhaustivo análisis de su ADN, los científicos descubrieron cuatro genes que aumentaban el riesgo de enfermedades mentales. Dos de ellos estaban relacionados con la regulación de los canales de calcio en las neuronas. (El calcio es un elemento imprescindible que interviene en el procesamiento de las señales nerviosas.) Según el doctor Jordan Smoller, de la Facultad de Medicina de Harvard, «lo que se ha descubierto sobre los canales de calcio parece indicar que tal vez —y sólo tal vez— unos tratamientos que afecten a la canalización del calcio podrían ser efectivos en toda una gama de trastornos».[17] Ya se están utilizando bloqueadores de los canales de calcio para tratar a personas con trastorno bipolar. En el futuro, estos bloqueadores se podrían usar para tratar también otras enfermedades mentales.

Este nuevo resultado podría ayudar a explicar el curioso hecho de que cuando una familia tiene antecedentes de enfermedades mentales, los miembros afectados pueden manifestar diferentes

modalidades de estas. Por ejemplo, si un gemelo padece esquizofrenia, el otro puede presentar un trastorno mental totalmente diferente, como el bipolar. Lo importante de todo esto es que, aunque cada enfermedad mental tiene sus propios desencadenantes y genes, podría existir también un hilo conductor en todas ellas. Aislando los factores comunes de estas enfermedades podríamos encontrar una pista para desarrollar los medicamentos más efectivos contra ellas.

«Probablemente, lo que hemos identificado aquí es solo la punta del iceberg —opina el doctor Smoller—. A medida que se hagan más estudios como estos, esperamos encontrar más genes que podrían solaparse».[18] Si se encuentran más genes comunes a estas cinco enfermedades, se podría iniciar un enfoque completamente nuevo de las enfermedades mentales.

Así pues, el hallazgo de más genes comunes podría representar la oportunidad de utilizar terapia génica para reparar el daño causado por genes defectuosos. O podrían desarrollarse nuevos fármacos para tratar las enfermedades a nivel neuronal.

FUTUROS CAMINOS

Por el momento no existe cura para los pacientes con enfermedades mentales. Históricamente, los médicos se han visto impotentes para tratarlas. Pero la medicina moderna nos ha dado muchas posibilidades y nuevas terapias para afrontar este antiguo problema. Algunas de ellas son:

- Encontrar nuevos neurotransmisores y fármacos para regular las señales de las neuronas.
- Localizar los genes relacionados con diversas enfermedades mentales y tal vez utilizar terapia génica.
- Aplicar estimulación cerebral profunda para reducir o aumentar la actividad neuronal en ciertas zonas.
- Utilizar electroencefalografía, imágenes de resonancia magnética, magnetoencefalografía y escáneres electromagnéticos transcraneales para conocer con exactitud cómo son las malfunciones del cerebro.
- Y en el capítulo sobre ingeniería inversa del cerebro, exploraremos otro camino prometedor: la creación de imágenes de todo el cerebro y sus rutas nerviosas. Esto podría revelar por fin el misterio de las enfermedades mentales.

Pero para explicar de algún modo la amplia variedad de enfermedades mentales, algunos científicos creen que se pueden clasificar en al menos dos grupos principales, cada uno de los cuales exige un enfoque diferente:

- Enfermedades mentales debidas a una lesión en el cerebro.
- Enfermedades mentales causadas por un cableado incorrecto en el cerebro.

El primer tipo incluye el párkinson, la epilepsia, el alzhéimer y una gran variedad de trastornos causados por hemorragias, ictus y tumores, en los que el tejido cerebral queda dañado o deja de funcionar bien. En el caso del párkinson y la epilepsia, hay neuronas en una área precisa del cerebro que están hiperactivas.

En el alzhéimer, una acumulación de placa amiloide destruye el tejido cerebral, incluyendo el hipocampo. En los ictus y tumores, ciertas partes del cerebro quedan silenciadas, causando numerosos problemas de comportamiento. Cada uno de estos trastornos tiene que tratarse de manera diferente, ya que cada lesión es distinta. Con el párkinson y la epilepsia puede ser necesario usar sondas para silenciar las zonas hiperactivas, mientras que los daños causados por el alzhéimer, los ictus y los tumores suelen ser incurables.

En el futuro veremos avanzar los métodos para tratar estas partes lesionadas del cerebro, además de la estimulación cerebral profunda y los campos magnéticos. Algún día se podrán usar células madre para sustituir el tejido cerebral dañado. O tal vez se puedan encontrar repuestos artificiales para compensar las zonas dañadas por medio de ordenadores. En este caso, el tejido dañado se extirparía o se sustituiría por repuestos orgánicos o electrónicos.

La segunda categoría incluye trastornos causados por un defecto en las conexiones nerviosas del cerebro. En esta categoría entrarían trastornos como la esquizofrenia, el trastorno obsesivo-compulsivo, la depresión y el trastorno bipolar. Puede que todas las áreas del cerebro estén sanas e intactas, pero una o más de ellas pueden estar mal «cableadas» y entonces los mensajes no se procesan correctamente. Esto es difícil de tratar, ya que no se conoce bien el cableado del cerebro. Hasta ahora, la principal manera de tratar estos trastornos es mediante fármacos que influyen en los neurotransmisores, pero todavía es mucho lo que se hace al azar.

Pero existe otro estado de conciencia alterada que nos ha proporcionado nuevos conocimientos sobre la mente en acción. También nos ha proporcionado nuevos puntos de vista sobre el funcionamiento del cerebro y lo que podría ocurrir si hay una avería. Este es el campo de la inteligencia artificial. Aunque todavía está en su primera infancia, ha abierto nuevos caminos al conocimiento del proceso de pensar, e incluso ha profundizado nuestra comprensión de la conciencia humana. Las preguntas son: ¿se puede lograr una conciencia de silicio? Y de ser así, ¿en qué se diferenciaría de la humana? ¿Y algún día intentará controlarnos?

10

La mente artificial y la conciencia de silicio

> No, no estoy interesado en crear un cerebro poderoso. Me conformo con uno mediocre, algo así como el cerebro del presidente de la Compañía Americana de Teléfonos y Telégrafos.
>
> ALAN TURING

En febrero de 2011 se hizo historia.

Un ordenador IBM llamado Watson hizo lo que muchos críticos creían que era imposible: derrotar a dos participantes de un concurso televisivo llamado *Jeopardy!* Millones de espectadores quedaron pegados a la pantalla mientras Watson aniquilaba metódicamente a sus rivales en la televisión nacional, respondiendo preguntas que dejaban atónitos a los otros concursantes y llevándose así el premio de un millón de dólares.

IBM no reparó en gastos para montar una máquina con una potencia de procesamiento verdaderamente monumental. Watson puede procesar datos a la asombrosa velocidad de quinientos gigabytes por segundo (el equivalente de un millón de libros por segundo), con una memoria RAM de dieciséis billones de bytes. Además, tiene acceso a doscientos millones de páginas de información en su memoria, incluyendo todo el almacén de conocimientos que es la Wikipedia. Y Watson pudo analizar toda esta montaña de información en directo por la tele.

Watson es la última generación de «sistemas expertos», programas de software que utilizan la lógica formal para acceder a ingentes cantidades de información especializada. (Cuando hablamos por teléfono con un aparato que nos da un menú de opciones, ese es un sistema experto primitivo.) Los sistemas expertos seguirán entrando en nuestra vida, haciéndola más cómoda y fácil.

Por ejemplo, ahora los ingenieros están trabajando en crear un «ciberdoctor», que aparecerá en nuestro reloj de pulsera o en nuestro móvil y nos dará orientación médica básica con un 99 por ciento de exactitud y casi gratis. Le contaremos nuestros síntomas y él consultará los bancos de datos de los principales centros médicos del mundo, en busca de la última información científica. Esto reducirá las visitas innecesarias al médico, eliminará costosas falsas alarmas y permitirá tener

frecuentes conversaciones con un médico fácilmente.

Con el tiempo podremos tener ciberabogados capaces de responder a todas las preguntas legales comunes o una cibersecretaria que nos planificará las vacaciones, los viajes y las cenas fuera. (Por supuesto, para servicios especializados que requieran ayuda profesional, seguiremos necesitando ver a un médico real, a un abogado, etcétera, pero para el asesoramiento normal, cotidiano, solo hará falta consultar uno de estos programas.)

Además, los científicos han creado «chat-bots» o robots conversadores, que pueden imitar conversaciones normales. Una persona corriente puede conocer decenas de miles de palabras. Para leer el periódico se pueden necesitar unas dos mil palabras o más, pero en una conversación casual solo se suelen utilizar unos cuantos centenares. Se puede programar un robot para que converse con este limitado vocabulario (siempre que la conversación se restrinja a ciertos temas bien definidos).

SENSACIÓN EN LOS MEDIOS: ¡QUE VIENEN LOS ROBOTS!

Poco después de que Watson ganara aquel concurso, algunos intelectuales se retorcían las manos, lamentando el día en que las máquinas se harán con el poder. Ken Jennings, uno de los concursantes derrotados por Watson, comentó a la prensa: «Yo, por lo menos, doy la bienvenida a nuestros nuevos señores informáticos». Los intelectuales preguntaron: si Watson ha podido derrotar a concursantes experimentados en una competición cerebro-máquina, ¿qué posibilidades tenemos el resto de los mortales de resistir el avance de las máquinas? Medio en broma, Jennings respondió: «Brad (el otro concursante) y yo fuimos los primeros trabajadores de la industria del conocimiento que nos quedamos sin trabajo por culpa de la nueva generación de “máquinas pensantes”».

Pero los comentaristas olvidaron mencionar que uno no se puede acercar a Watson para felicitarle por su victoria. No le puedes dar una palmada en la espalda ni brindar con él con unas copas de champán. Watson no sabría qué significaba todo eso, y de hecho no tenía ninguna conciencia de haber ganado. Dejando aparte todo el sensacionalismo, lo cierto es que Watson es una máquina calculadora muy perfeccionada, capaz de sumar (o de buscar en bases de datos) miles de millones de veces más deprisa que el cerebro humano, pero carece por completo de conciencia de sí mismo y de sentido común.

Por una parte, el progreso de la inteligencia artificial ha sido asombroso, sobre todo en el terreno de la potencia computacional pura. Una persona de 1900 que viera los cálculos que hoy llevan a cabo los ordenadores podría pensar que estos aparatos son milagrosos. Pero en otro sentido, el progreso ha sido dolorosamente lento en lo referente a construir máquinas capaces de pensar por sí mismas (es decir, verdaderos autómatas, sin un marionetista ni un controlador con un joystick ni alguien en un tablero de control remoto). Los robots son totalmente inconscientes de que son robots.

Teniendo en cuenta que, según la ley de Moore, la potencia de los ordenadores se ha duplicado cada dieciocho meses en los últimos cincuenta años, hay quien dice que es solo cuestión de tiempo para que las máquinas adquieran por fin una conciencia de sí mismas que rivalice con la inteligencia humana. Nadie sabe cuándo ocurrirá esto, pero la humanidad debería estar preparada para el momento en que la conciencia de las máquinas salga del laboratorio y entre en el mundo real. La manera en que tratemos con la conciencia robótica podría decidir el futuro de la especie humana.

CICLOS DE SUBIDA Y BAJADA EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Es difícil predecir el futuro de la inteligencia artificial, porque ha pasado por tres ciclos de subida y bajada. Allá por la década de 1950, parecía que los mayordomos y doncellas mecánicos estaban a la vuelta de la esquina. Se estaban construyendo máquinas que podían jugar a las damas y resolver problemas de álgebra. Se inventaron brazos robóticos que podían reconocer y agarrar objetos. En la Universidad de Stanford se construyó un robot llamado Shakey, que era básicamente un ordenador sobre ruedas con una cámara y que podía moverse solo por una habitación, evitando los obstáculos.

En las revistas de ciencia se empezaron a publicar artículos entusiastas que anunciaban la llegada del robot de compañía. Algunas predicciones eran muy conservadoras. En 1949, la revista *Popular Mechanics* decía que «en el futuro, las computadoras no pesarán más de una tonelada y media». Pero otras eran delirantemente optimistas al proclamar que el día de los robots estaba próximo. Algún día, Shakey se convertiría en una doncella o un mayordomo mecánico que pasaría la aspiradora por las alfombras y nos abriría la puerta. Películas como *2001: Una odisea del espacio* nos convencieron de que los robots pilotarían muy pronto nuestras naves espaciales a Júpiter, mientras charlaban con nuestros astronautas. En 1965, el doctor Herbert Simon, uno de los creadores de la inteligencia artificial, dijo rotundamente: «Dentro de veinte años, las máquinas serán capaces de hacer cualquier tarea que pueda hacer un hombre».[1] Dos años después, otro de los padres de la inteligencia artificial, el doctor Marvin Minsky, dijo que «dentro de una generación […] el problema de crear inteligencia artificial se habrá resuelto en lo sustancial».[2]

Pero todo este optimismo desatado se vino abajo en la década de 1970. Las máquinas que jugaban a las damas solo podían jugar a las damas y nada más. Los brazos mecánicos podían levantar objetos, pero nada más. Eran como animales de circo con un solo truco. Los robots más avanzados tardaban horas en recorrer una habitación. Shakey, colocado en un entorno desconocido, se perdía con facilidad. Y los científicos no habían avanzado nada hacia el conocimiento de la conciencia. En 1974 la inteligencia artificial sufrió un tremendo golpe cuando los gobiernos estadounidense y británico recortaron considerablemente los fondos destinados a este campo.

Pero en la década de 1980, a medida que aumentaba la potencia de los ordenadores, tuvo lugar una

nueva fiebre del oro en la inteligencia artificial, impulsada principalmente por los planificadores del Pentágono, que pretendían llevar soldados robots a los campos de batalla. En 1985 las subvenciones a la inteligencia artificial llegaron a los mil millones de dólares, con cientos de millones invertidos en proyectos como el Smart Truck, que se suponía que sería un camión autónomo e inteligente, capaz de penetrar en las líneas enemigas, hacer reconocimientos, realizar misiones (como rescatar prisioneros) y volver por sí solo a territorio amigo. Por desgracia, lo único que hizo el Smart Truck fue perderse. Los evidentes fracasos de estos costosos proyectos generaron otro invierno para la inteligencia artificial en la década de 1990.

Paul Abrahams, en un comentario sobre los años que pasó en el Instituto Tecnológico de Massachusetts como estudiante de posgrado, decía que «era como si un grupo de personas se hubiera propuesto construir una torre que llegara hasta la luna. Cada año señalaban con orgullo lo mucho que había crecido la torre desde el año anterior. El único problema era que la luna seguía estando igual de lejos».[3]

Pero ahora, con el imparable avance de la potencia de los ordenadores, ha comenzado un nuevo renacimiento de la inteligencia artificial, y se van realizando progresos lentos pero sustanciales. En 1997, el ordenador Deep Blue de IBM ganó al campeón mundial de ajedrez Gari Kaspárov. En 2005, un coche robot de Stanford ganó el Gran Premio DARPA para automóviles sin conductor. Se siguen superando hitos.

La pregunta es: ¿a la tercera va la vencida?

Ahora los científicos son conscientes de que subestimaron el problema, porque en realidad la mayor parte del pensamiento humano es subconsciente. La parte consciente de nuestros pensamientos representa solo una pequeñísima fracción de nuestras elaboraciones mentales.

El doctor Steve Pinker ha dicho que «pagaría muchísimo por un robot capaz de recoger los platos o hacer recados sencillos, pero no es posible, porque aún no se han resuelto todos los pequeños problemas que habría que resolver para construir un robot capaz de hacer cosas como reconocer objetos, razonar acerca del mundo y controlar manos y pies».[4]

Aunque las películas de Hollywood nos digan que los aterradores robots Terminator pueden estar a la vuelta de la esquina, la tarea de crear una mente artificial ha resultado mucho más difícil de lo que antes se pensaba que sería. Una vez le pregunté al doctor Marvin Minsky, uno de los fundadores de este campo, cuándo llegarían las máquinas a igualar, y tal vez incluso superar, la inteligencia humana. Dijo que confiaba en que esto llegaría a ocurrir, pero que ya no hace predicciones con fechas. Dados los altibajos de la historia de la inteligencia artificial, es posible que esta sea la postura más juiciosa, planear el futuro de la inteligencia artificial sin especificar tiempos.

RECONOCIMIENTO DE PATRONES Y SENTIDO COMÚN

La inteligencia artificial tiene por lo menos dos problemas básicos: el reconocimiento de patrones y el sentido común.

Nuestros mejores robots a duras penas pueden reconocer objetos sencillos, como una taza o una pelota. Tal vez el ojo del robot puede captar los detalles mejor que un ojo natural, pero su cerebro no puede reconocer lo que está viendo. Si colocamos un robot en una calle desconocida y concurrida, no tarda en desorientarse y perderse. El reconocimiento de patrones (es decir, la capacidad de identificar objetos) ha avanzado mucho más despacio de lo que se pensaba, debido a este problema.

Cuando un robot entra en una habitación, tiene que realizar billones de cálculos, descomponiendo los objetos que ve en píxeles, líneas, círculos, cuadrados y triángulos, y después intentar encontrar una coincidencia con una de las miles de imágenes almacenadas en su memoria. Por ejemplo, los robots ven una silla como un batiburrillo de líneas y puntos, pero no pueden identificar fácilmente su «condición de silla». Incluso si el robot es capaz de hacer coincidir un objeto con una de las imágenes de su base de datos, basta una ligera rotación (la silla caída en el suelo) o un cambio de punto de vista (verla desde otro ángulo) para desconcertarlo. En cambio, nuestro cerebro tienen en cuenta automáticamente las diferentes perspectivas y variaciones. Este realiza inconscientemente billones de cálculos, pero parece que no nos cuesta ningún esfuerzo.

Además, los robots tienen un problema con el sentido común. No comprenden hechos sencillos del mundo físico y biológico. No existe una ecuación que pueda confirmar algo que a los humanos nos resulta evidente por sí mismo, como «el tiempo bochornoso es incómodo» o «las madres son más viejas que sus hijas». Se ha hecho algún progreso en la traducción de este tipo de información a lógica matemática, pero para catalogar el sentido común de un niño de cuatro años se necesitarían cientos de millones de líneas de código informático. Como dijo Voltaire, «el sentido común no es tan común».

Por ejemplo, uno de nuestros robots más avanzados se llama ASIMO y lo construyó la compañía Honda en Japón (donde se fabrica el 30 por ciento de los robots industriales). Este maravilloso robot, del tamaño aproximado de un niño, puede andar, correr, subir escaleras, hablar en varios idiomas y bailar (mucho mejor que yo, debo decir). He coincidido con ASIMO varias veces en televisión y quedé muy impresionado por sus habilidades.

Sin embargo, me reuní en privado con los creadores de ASIMO y les hice la pregunta clave: ¿Cuál es el grado de inteligencia de ASIMO en comparación con la de un animal? Me reconocieron que tiene la inteligencia de un insecto.[5] Todo eso de andar y hablar es sobre todo para la prensa. El problema es que ASIMO es, en términos generales, una enorme grabadora. Solo tiene un pequeño conjunto de funciones verdaderamente autónomas. Y cada discurso o movimiento tiene que estar cuidadosamente preparado. Por ejemplo, tardaron unas tres horas en filmar una breve escena de ASIMO interactuando conmigo, porque los gestos de la mano y otros movimientos tenían que ser

programados por un equipo de técnicos.

Si consideramos esto en relación con nuestra definición de conciencia humana, parece que nuestros robots actuales están estancados en un nivel muy primitivo, todavía intentando encontrarle sentido al mundo físico y social, aprendiendo cosas básicas. Como consecuencia, los robots no se encuentra todavía en un estado que les permita elaborar simulaciones realistas del futuro. Pedirle a un robot que trame un plan para robar un banco, por ejemplo, implica suponer que este conoce todos los datos fundamentales sobre los bancos, como dónde se guarda el dinero, qué tipo de sistema de seguridad tienen y cómo reaccionarán a la situación la policía y el público. Parte de esto se puede programar, pero existen cientos de matices que la mente humana comprende de manera natural pero los robots no.

En lo que sí son muy buenos los robots es en simular el futuro en un solo campo muy preciso, como jugar al ajedrez, hacer modelos meteorológicos, seguir el rumbo de colisión de las galaxias, etcétera. Dado que las reglas del ajedrez y la ley de la gravedad se conocen desde hace siglos, simular el futuro de una partida de ajedrez o de un sistema solar es solo cuestión de potencia computacional.

Los intentos de llegar más allá a base de fuerza bruta tampoco han prosperado mucho. Se creó un ambicioso programa, llamado CYC, diseñado para resolver el problema del sentido común. El CYC incluiría millones de líneas de código informático, que contendrían toda la información de sentido común y conocimiento necesaria para comprender el entorno físico y social. Aunque el CYC puede procesar cientos de miles de datos y millones de afirmaciones, todavía no puede reproducir el pensamiento de un niño de cuatro años. Lamentablemente, después de algunas notas de prensa optimistas, el proyecto ha quedado estancado. Muchos de sus programadores lo han dejado. Sin embargo, aunque los plazos han ido alargándose, el proyecto todavía continúa.

¿ES EL CEREBRO UN ORDENADOR?

¿En qué nos hemos equivocado? Durante los últimos cincuenta años los científicos que trabajan en inteligencia artificial han intentado crear modelos del cerebro siguiendo la analogía con los ordenadores digitales. Pero tal vez esto sea demasiado simplista. Como dijo Joseph Campbell: «Los ordenadores son como dioses del Antiguo Testamento: montones de reglas y nada de misericordia». Si le quitamos un solo transistor a un chip Pentium, dejará de funcionar al instante. Pero el cerebro humano puede seguir funcionando bastante bien aunque le falte la mitad.

Y esto se debe a que el cerebro humano no es un ordenador digital, sino un tipo de red nerviosa muy sofisticada. A diferencia de un ordenador digital, que tiene una arquitectura fija (entrada, salida y procesador), las redes nerviosas son conjuntos de neuronas que constantemente cambian de cableado y se refuerzan unas a otras después de aprender una nueva tarea. El cerebro no tiene programación, ni

sistema operativo, ni Windows ni procesador central. En cambio, las redes nerviosas son enormemente paralelas, con cien mil millones de neuronas activándose a la vez con el fin de lograr un único objetivo: aprender.

En vista de esto, los investigadores de la inteligencia artificial están empezando a reconsiderar el enfoque «de arriba abajo» que han estado siguiendo durante cincuenta años (por ejemplo, meter todas las reglas de sentido común en un CD). Ahora los investigadores de inteligencia artificial están echándole una segunda mirada al enfoque «de abajo arriba». Este enfoque intenta imitar a la Madre Naturaleza, que ha creado seres inteligentes (nosotros) por medio de la evolución, empezando por organismos simples y después creando otros más complejos. Las redes nerviosas tienen que aprender de la manera difícil, tropezando con cosas y cometiendo errores.

El doctor Rodney Brooks, ex director del famoso Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts y cofundador de iRobot, que fabrica esas aspiradoras mecánicas que se ven en muchos cuartos de estar, introdujo un enfoque completamente nuevo en la inteligencia artificial. En lugar de diseñar robots grandes y torpes, ¿por qué no construir otros pequeños y compactos, como insectos, que tengan que aprender a caminar, como en la naturaleza? Cuando lo entrevisté me dijo que le maravillaba el mosquito, que tiene un cerebro casi microscópico, con muy pocas neuronas, y sin embargo es capaz de maniobrar en el espacio mejor que ningún avión-robot.[6] Así que construyó una serie de robots sumamente simples, a los que llamaba cariñosamente «insectoides» o «bugbots», que correteaban por los suelos del Instituto Tecnológico de Massachusets y podían correr en círculos alrededor de los robots más tradicionales. El objetivo era crear robots que siguieran el método de ensayo y error de la Madre Naturaleza. En otras palabras, estos robots aprenden a base de tropezar con las cosas.

(Al principio puede parecer que esto exige mucha programación. Pero lo gracioso es que las redes nerviosas no necesitan ninguna. Lo único que hace la red nerviosa es cambiar su cableado, alterando la fuerza de ciertas rutas cada vez que toma una decisión correcta. Así pues, la programación no es nada; modificar la red lo es todo.)

En otros tiempos, los escritores de ciencia ficción fantaseaban con que los robots en Marte serían humanoides sofisticados, que andarían y se moverían igual que nosotros, con una compleja programación que les daría inteligencia humana. Ha ocurrido lo contrario. Ahora los nietos de esta idea —como el Mars Curiosity Rover— rondan por la superficie de Marte. No están programados para andar como un humano. Tienen la inteligencia de un insecto, pero se las arreglan muy bien en este terreno. Estos merodeadores de Marte tienen relativamente poca programación, pero en cambio aprenden a base de tropezar con obstáculos.

¿SON CONSCIENTES LOS ROBOTS?

Puede que la manera más clara de comprender por qué todavía no existen robots autómatas sea evaluar su nivel de conciencia. Como hemos visto en el capítulo 2, podemos clasificar la conciencia en cuatro niveles. La conciencia de nivel 0 es la que corresponde a los termostatos y las plantas; es decir, incluye unos pocos bucles de retroalimentación en unos pocos parámetros simples, como la temperatura o la luz del sol. La conciencia de nivel I describe a los insectos y reptiles, que son móviles y poseen un sistema nervioso central; implica crear un modelo del mundo en relación con un nuevo parámetro, el espacio. Después tenemos la conciencia de nivel II, que crea un modelo del mundo en relación con otros de su clase, lo cual exige emociones. Por último, tenemos la conciencia de nivel III, que corresponde a los humanos, quienes incorporan el tiempo y la conciencia de sí mismos para simular cómo se desarrollarán las cosas en el futuro y determinar su posición en esos modelos.

Según esta teoría, ahora podemos clasificar a los robots. Los de primera generación tenían un nivel 0, ya que eran estáticos, sin ruedas ni pies. Los robots actuales están en el nivel I, ya que son móviles, pero están en un escalón muy bajo, puesto que tienen dificultades tremendas para navegar en el mundo real. Su conciencia se puede comparar con la de un gusano o un insecto lento. Para producir una conciencia de nivel I completa, los científicos tendrán que crear robots capaces de reproducir de manera realista la conciencia de los insectos y los reptiles. Hasta los insectos tienen habilidades que nuestros robots no poseen, como ubicar escondites rápidamente, localizar parejas sexuales en el bosque, reconocer y eludir a los depredadores o encontrar alimento y cobijo.

Como dijimos antes, podemos clasificar numéricamente las conciencias por el número de bucles de retroalimentación en cada nivel. Los robots con ojos, por ejemplo, pueden tener varios porque disponen de sensores capaces de detectar la frecuencia, la intensidad, la tensión, las pausas, etcétera. El número total de estos bucles de retroalimentación puede llegar a diez (mientras que un insecto, capaz de buscar alimento en la naturaleza, encontrar pareja, localizar un refugio, etcétera, puede tener cincuenta o más bucles). Así pues, un robot típico puede alcanzar una conciencia del nivel I:10.

Para poder acceder a la conciencia de nivel II, los robots tienen que ser capaces de crear un modelo del mundo en relación con otros. Como ya hemos dicho, la conciencia de nivel II, en una primera aproximación, se calcula multiplicando el número de miembros del grupo por el de emociones y gestos que utilizan para comunicarse entre ellos. Según esto, los robots tendrían una conciencia de nivel II:0. Pero es de esperar que los robots emocionales que ahora se están construyendo en los laboratorios hagan aumentar este número.

Nuestros robots ven a los humanos simplemente como un conjunto de píxeles moviéndose en sus sensores de televisión, pero algunos investigadores de la inteligencia artificial están empezando a crear robots capaces de reconocer emociones en nuestras expresiones faciales y tonos de voz. Este es un primer paso hacia que los robots se den cuenta de que los humanos son algo más que píxeles al

azar, que tienen estados emocionales.

En las próximas décadas los robots irán ascendiendo poco a poco en el nivel II de conciencia, llegando a ser tan inteligentes como un ratón, una rata, un conejo, un perro y por fin un gato. Es posible que a finales de este siglo sean tan inteligentes como un mono y empiecen a fijarse objetivos propios.

Cuando los robots tengan un conocimiento funcional del sentido común y la teoría de la mente, serán capaces de crear simulaciones completas del futuro en las que ellos aparecerán como actores principales, y así accederán a la conciencia de nivel III. Dejarán el mundo del presente y entrarán en el del futuro. Esto está muchas décadas por delante de la capacidad de cualquier robot actual. Crear simulaciones del futuro significa que se está en capacidad de comprender las leyes de la naturaleza, la causalidad y el sentido común, lo que permite anticipar sucesos futuros. También significa que se comprenden las intenciones y motivaciones humanas, y que se es capaz de predecir también una conducta futura.

El valor numérico de la conciencia de nivel III se calcula, como ya hemos dicho, tomando el número total de conexiones causales que podemos hacer al simular el futuro en diversas situaciones de la vida real, y dividiéndolo por el valor medio de un grupo control. Los ordenadores actuales son capaces de hacer simulaciones limitadas en unos pocos parámetros (por ejemplo, la colisión de dos galaxias, el flujo de aire alrededor de un avión, el comportamiento de los edificios en un terremoto), pero son completamente incapaces de simular el futuro en situaciones complejas de la vida real, de manera que su nivel de conciencia sería más o menos III:5.

Como vemos, pueden hacer falta décadas de duro trabajo antes de que tengamos un robot que pueda funcionar normalmente en la sociedad humana.

OBSTÁCULOS EN EL CAMINO

Entonces, ¿cuándo podrán por fin los robots igualar y superar a los seres humanos en inteligencia? Nadie lo sabe, pero se han hecho muchas predicciones. La mayoría de ellas se basan en extrapolar la ley de Moore a décadas en el futuro. Pero esta no es una verdadera ley, de hecho, viola una ley fundamental de la física: la teoría cuántica.

La ley de Moore no puede durar indefinidamente. Es más, ya podemos ver que va perdiendo velocidad. Podría quedar estancada al final de esta década o de la siguiente, y las consecuencias serían terribles, sobre todo para Silicon Valley.

El problema es sencillo: ahora mismo se pueden meter cientos de millones de transistores de silicio en un chip del tamaño de una uña, pero existe un límite a cuánto se puede «apretujar» en estos chips. En la actualidad, la capa de silicio más fina de un chip Pentium tiene unos veinte átomos de

grosor, pero en 2020 esa capa podría tener solo cinco. Pero entonces entra en juego el principio de incertidumbre de Heisenberg, y ya no podremos determinar con exactitud dónde está el electrón, que podría salirse del cable. (Véase el apéndice, donde comentamos con más detalle la teoría cuántica y el principio de incertidumbre.) El chip se cortocircuitaría. Además, generaría calor suficiente para freír un huevo encima. Así que la dispersión y el calor acabarán tarde o temprano con la ley de Moore, a menos que se pueda encontrar un sustituto.

Como ya no se puede llegar más allá empaquetando transistores en chips planos, bidimensionales, para aumentar la potencia de los ordenadores, Intel está haciendo una apuesta multimillonaria para añadir una tercera dimensión a los chips. El tiempo dirá si esta jugada sale bien (un problema importante de los chips tridimensionales es que el calor generado aumenta rápidamente con la altura del chip).

Microsoft está buscando otras opciones, como expandir las dos dimensiones con procesamiento paralelo. Una posibilidad es extender los chips horizontalmente en hilera. Después se descompone un problema de software en partes, se asigna cada parte a un pequeño chip y se vuelve a juntar todo al final. Sin embargo, el proceso puede resultar difícil, y el software crece a una velocidad mucho más lenta que la exponencial y acelerada a que nos tiene acostumbrados la ley de Moore.

Estos apaños pueden sumar años a la ley de Moore. Pero con el tiempo, todo esto también quedará superado: la teoría cuántica se impondrá inevitablemente. Por esta razón, los físicos están experimentando con una amplia variedad de alternativas para cuando la Era del Silicio llegue a su fin: ordenadores cuánticos, ordenadores moleculares, nanoordenadores, ordenadores de ADN, ordenadores ópticos, entre otros. Pero ninguna de estas tecnologías aún está lista para salir a escena.

EL VALLE DEL MISTERIO

Pero supongamos por el momento que un día coexistimos con robots increíblemente sofisticados, que tal vez utilicen chips con transistores moleculares en lugar de silicio. ¿Cuánto queremos que se parezcan nuestros robots a nosotros? Japón es el líder mundial en la creación de robots que parecen niños o mascotas monísimas, pero sus diseñadores ponen mucho cuidado en que no parezcan demasiado humanos, porque podría resultar inquietante. Este fenómeno fue estudiado por primera vez en Japón por el doctor Masahiro Mori en 1970 y se llama «el valle del misterio». Está comprobado que los robots que se parecen demasiado a los humanos resultan siniestros. (En realidad, este efecto ya fue mencionado por Darwin en 1839 en *El viaje del Beagle*, y después por Freud en 1919, en un ensayo titulado «Lo misterioso».) Desde entonces ha sido objeto de estudios muy cuidadosos no solo por parte de investigadores de inteligencia artificial, sino por animadores, publicistas y todo el que promocione un producto que incluya figuras de aspecto humano. Por

ejemplo, en una crítica de la película *Polar Express*, un comentarista de la CNN decía: «Los personajes humanos de la película resultan absolutamente… bueno, inquietantes. De modo que *Polar Express* es, en el mejor de los casos, desconcertante, y en el peor, un pelín terrorífica».

Según el doctor Mori, cuanto más se parece un robot a un ser humano, más empatía sentimos hacia él, pero solo hasta cierto punto. La empatía cae en picado cuando la apariencia del robot se acerca a la humana; de ahí lo del valle del misterio. Si el robot tiene un aspecto muy similar al nuestro, excepto por unos pocos rasgos que son «extraños», causa una sensación de repulsión y miedo. Si el aspecto del robot es cien por cien humano, indistinguible de nosotros, volvemos a registrar emociones positivas.

Esto tiene implicaciones prácticas. Por ejemplo, ¿deberían sonreír los robots? En principio, parece obvio que sí, para saludar a la gente y hacer que se sienta cómoda. Sonreír es un gesto universal que indica amistad y buena acogida. Pero si la sonrisa es demasiado realista, a la gente se le empieza a poner la carne de gallina. (Muchas máscaras de Halloween tienen rostros de monstruos que sonríen diabólicamente.) Así que los robots solo deberían sonreír si tienen aspecto infantil (ojos grandes y cara redonda) o si son perfectamente humanos, sin grados intermedios. (Cuando forzamos una sonrisa, activamos músculos faciales con nuestra corteza prefrontal. Pero cuando sonreímos porque estamos de buen humor, nuestros nervios están controlados por el sistema límbico, que activa un conjunto de músculos ligeramente diferente. Nuestro cerebro puede distinguir la sutil diferencia entre las dos sonrisas, algo que fue beneficioso para nuestra evolución.)

Este efecto también se puede estudiar con escaneos cerebrales. Supongamos que se coloca a un sujeto en un aparato de imagen por resonancia magnética y se le enseña una imagen de un robot que parece perfectamente humano, aunque los movimientos de su cuerpo son ligeramente rígidos y mecánicos. El cerebro, cada vez que ve algo, intenta predecir su movimiento en el futuro. Al ver un robot que parece humano, el cerebro predice que se moverá como un ser humano. Pero cuando el robot se mueve como una máquina, hay una discrepancia, que nos resulta incómoda. En particular, el lóbulo parietal se activa (concretamente el área donde la corteza motora conecta con la visual). Se cree que en esta zona del lóbulo parietal existen neuronas espejo. Esto tiene sentido, porque la corteza visual capta la imagen del robot humanoide, y sus movimientos se predicen por medio de la corteza motora y de neuronas espejo. Por último, es probable que la corteza orbitofrontal, situada justo detrás de los ojos, lo junte todo y diga: «Hum, aquí hay algo que no está bien».

Los cineastas de Hollywood son conscientes de este efecto. Cuando se gastan millones en hacer una película de terror, saben que la escena más terrorífica no es esa en la que una gigantesca masa gelatinosa o un monstruo de Frankenstein sale de entre los arbustos. Las escenas que más miedo dan son aquellas en las que hay una perversión de lo normal. Piensen en la película *El exorcista*. ¿Qué escena hacía que los espectadores vomitaran y trataran de escapar del cine, o se desmayaran en sus asientos? ¿La escena en la que aparece un demonio? No. En todos los cines del mundo se producía un

estallido de gritos agudos y fuertes gemidos cuando Linda Blair giraba la cabeza trescientos sesenta grados.

Este efecto se puede demostrar también en monos jóvenes. Si les enseñamos fotografías de Drácula o el monstruo de Frankenstein, se limitan a reírse y a romper las fotografías. Pero lo que hace que estos jóvenes monos chillen de terror es la imagen de un mono decapitado. Una vez más, es la perversión de lo normal lo que provoca más miedo. (En el capítulo 2 mencionábamos que la teoría espaciotemporal de la conciencia explica la naturaleza del humor, porque el cerebro simula el futuro de un chiste y después se sorprende al oír la frase final. Esto explica también la naturaleza del horror. El cerebro simula el futuro de un suceso normal y mundano, pero se lleva un sobresalto cuando las cosas se vuelven de repente horriblemente pervertidas.)

Por esta razón, los robots seguirán teniendo un aspecto algo infantiloide, aunque se vayan aproximando a la inteligencia humana. Solo cuando los robots puedan actuar de manera realista como humanos, sus diseñadores les harán parecer completamente humanos.

CONCIENCIA DE SILICIO

Como hemos visto, la conciencia humana es una combinación imperfecta de diferentes habilidades, desarrollada durante millones de años de evolución. Si se les proporciona información sobre su mundo físico y social, los robots podrían ser capaces de crear simulaciones similares (y, en algunos aspectos, incluso superiores) a las nuestras, pero la conciencia de silicio podría diferenciarse de la nuestra en dos aspectos clave: las emociones y los objetivos.

Históricamente, los investigadores de la inteligencia artificial no tuvieron en cuenta la cuestión de las emociones, considerándola un problema secundario. El objetivo era crear un robot que fuera lógico y racional, no inconstante e impulsivo. Por eso, la ciencia ficción de las décadas de 1950 y de 1960 insistía en robots (y humanoides como Spock, de *Star Trek*) que tuvieran cerebros perfectos y lógicos.

Ya vimos al hablar del valle del misterio que los robots tendrán que tener cierto aspecto particular para entrar en nuestros hogares, pero hay quien argumenta que deberían tener también emociones para que podamos conectar, interesarnos y mantener una relación productiva con ellos. En otras palabras, los robots necesitarían una conciencia del nivel II. Para conseguir esto, antes tendrán que poder reconocer todo el espectro de las emociones humanas. Analizando los sutiles movimientos de las cejas, los párpados, los labios, las mejillas, etcétera, un robot será capaz de identificar el estado emocional de un ser humano (por ejemplo, su dueño). Una institución que ha destacado en la creación de robots capaces de reconocer e imitar emociones es el Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts. He tenido el placer de acudir en varias ocasiones el laboratorio, a las afueras de

Boston, y es como visitar una fábrica de juguetes para adultos. Mires adonde mires, ves aparatos futuristas de alta tecnología, diseñados para hacer nuestras vidas más interesantes, gratificantes y cómodas.[7]

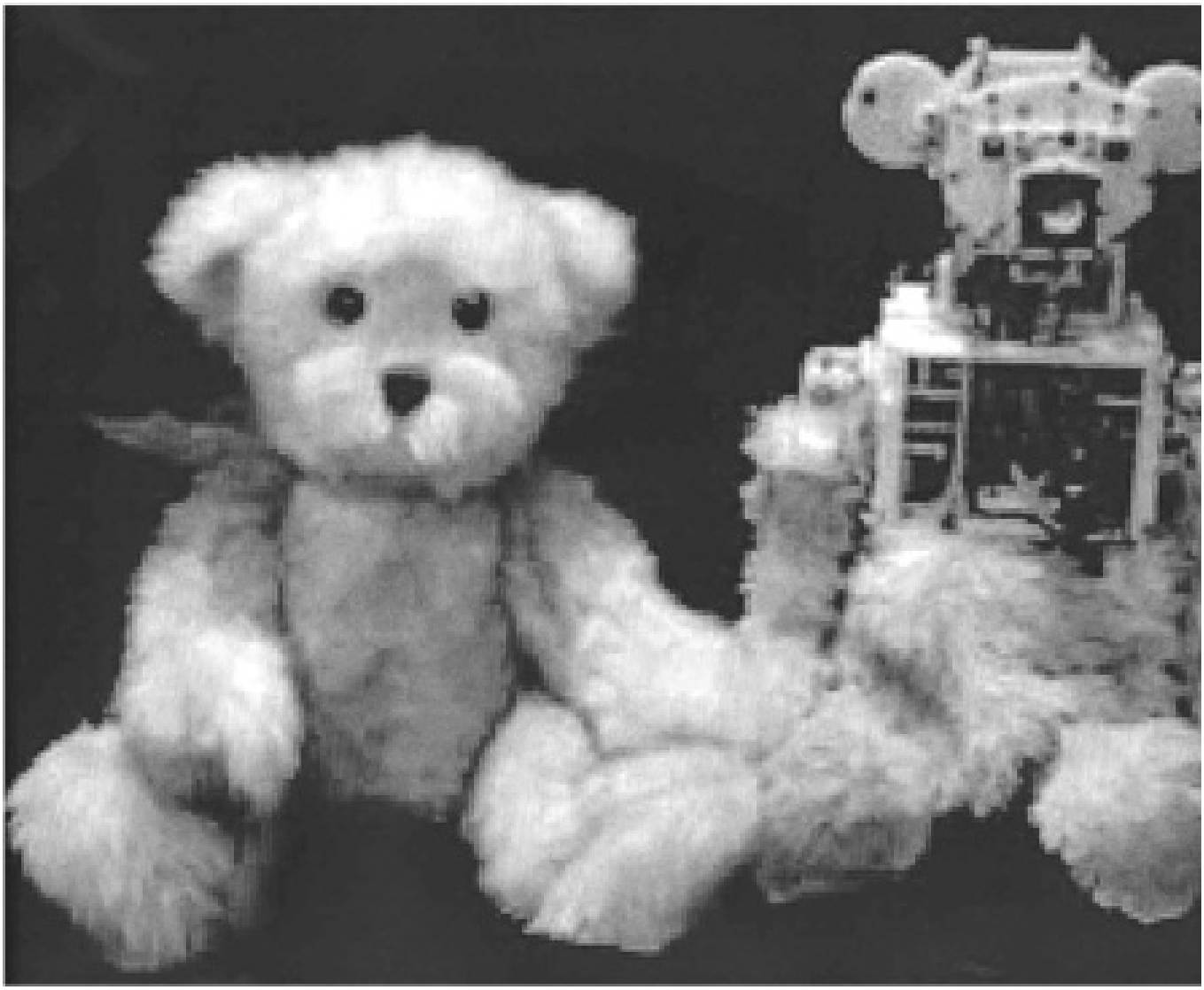
Echando un vistazo, vi muchos de los gráficos de alta tecnología que acabaron apareciendo en películas de Hollywood como *Minority Report* y *AI: Inteligencia artificial*. Recorriendo este campo de juego del futuro, encontré dos robots muy curiosos, Huggable y Nexi. Su creadora, la doctora Cynthia Breazeal, me explicó que aquellos robots tenían propósitos específicos: Huggable es una especie de oso de peluche capaz de relacionarse con los niños. Puede identificar las emociones de los niños, tiene videocámaras en los ojos, un altavoz en la boca y sensores en la piel (para saber cuándo le están abrazando, pinchando o haciendo cosquillas). Con el tiempo, un robot como este podrá servir como ayudante de un tutor, cuidador o niñera, o como compañero de juegos.

Por su parte, Nexi puede relacionarse con adultos. Se parece un poco a Poppy Fresco, el muñeco mascota de Pillsbury. Tiene una cara redonda, hinchada y simpática, con ojos grandes que pueden moverse en sus órbitas. Ya se ha probado en una residencia de la tercera edad, y a todos los ancianos les encantaba. En cuanto se acostumbraron a Nexi, lo besaban, hablaban con él y lo echaban de menos cuando tenía que marcharse (véase figura 12).

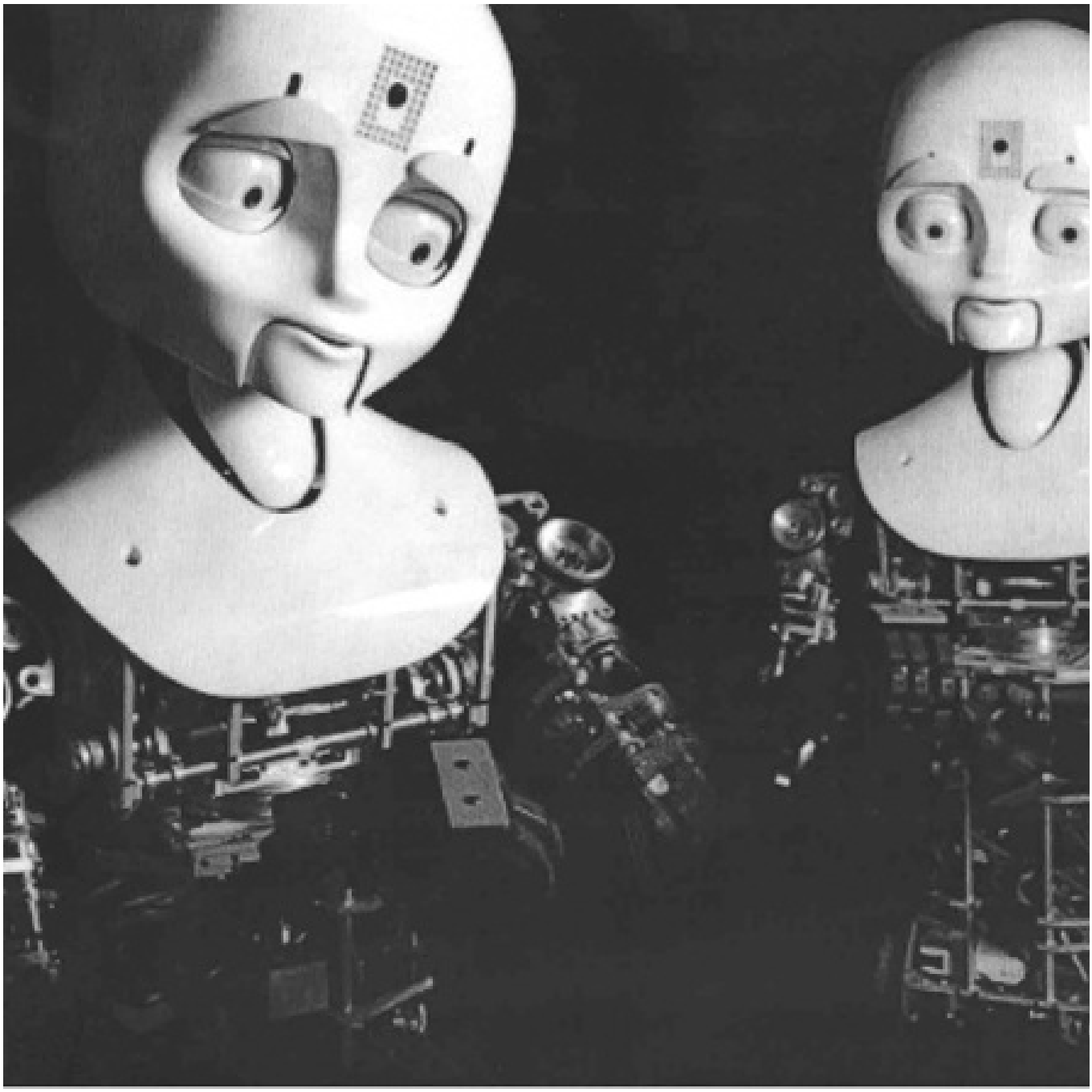
La doctora Breazeal me dijo que había diseñado a Huggable y a Nexi porque no estaba satisfecha con los robots anteriores, que parecían latas llenas de cables, engranajes y motores. Para que interactuaran emocionalmente con la gente, necesitaba diseñar un robot que pudiera funcionar y relacionarse como nosotros. Además, quería robots que no estuvieran confinados en un estante del laboratorio, sino que pudieran aventurarse en el mundo real. El doctor Frank Moss, ex director del Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts, dice que «por eso Breazeal decidió en 2004 que era hora de crear una nueva generación de robots sociales que pudieran vivir en cualquier sitio: hogares, colegios, hospitales, residencias de la tercera edad, etcétera».[8]

En la Universidad de Waseda (Japón) los científicos están trabajando en un robot cuyos movimientos de la parte superior del cuerpo representan emociones (miedo, ira, sorpresa, alegría, asco, tristeza) y que puede oír, oler, ver y tocar.[9] Está programado para realizar tareas sencillas, como satisfacer su hambre de energía y evitar situaciones peligrosas. Su objetivo es integrar los sentidos con las emociones, de manera que el robot actúe de manera adecuada en diferentes situaciones.[10]

Para no quedarse atrás, la Comisión Europea financia un proyecto de larga duración llamado Feelix Growing, con la intención de promocionar la inteligencia artificial en Reino Unido, Francia, Suiza, Grecia y Dinamarca.



Laboratorio MIT media, Personal Robots Group



© Mikey Siegel

FIGURA 12. Las imágenes muestran a Huggable y Nexi, dos robots construidos en el Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts, diseñados específicamente para interactuar emocionalmente con humanos.

ROBOTS EMOTIVOS

Les presento a Nao.[11]

Cuando está contento, extiende los brazos para recibirnos, esperando un abrazo. Cuando está triste, tiene la cabeza gacha y parece abatido, con los hombros caídos hacia delante. Cuando está asustado, se encoge de miedo hasta que alguien le da unas palmaditas en la cabeza para tranquilizarlo.

Es como un niño de un año, solo que es un robot. Nao mide aproximadamente cuarenta y cinco centímetros y se parece mucho a algunos de los robots que se ven en las jugueterías, como los

Transformers, pero es uno de los robots emotivos más avanzados del mundo. Lo construyeron unos científicos de la Universidad británica de Hertfordshire en una investigación financiada por la Unión Europea.

Sus creadores lo han programado para que exprese emociones como la alegría, la tristeza, el miedo, la excitación y el orgullo. Aunque hay otros robots capaces de comunicar emociones mediante rudimentarios gestos faciales y verbales, Nao los supera en lenguaje corporal, como posturas y gestos; incluso baila.

A diferencia de otros robots, que están especializados en dominar un solo campo de emociones, Nao domina una amplia gama de respuestas emocionales. En primer lugar, Nao se fija en la cara de los visitantes, puede identificarlos y es capaz de recordar sus interacciones anteriores con cada uno de ellos. En segundo lugar, empieza a seguir sus movimientos. Por ejemplo, puede seguir su mirada y decir qué están mirando. En tercer lugar, empieza a relacionarse con ellos y aprende a responder a sus gestos. Por ejemplo, si le sonreímos o le damos una palmadita en la cabeza, sabe que es una señal positiva. Como su cerebro tiene redes neuronales, aprende a base de interacciones con los humanos. En cuarto lugar, Nao expresa emociones en respuesta a sus interacciones con las personas. (Sus respuestas emocionales están todas programadas, como en una grabadora, pero él decide qué emoción elegir para adaptarse a la situación.) Y por último, cuanto más interacciona con un ser humano, mejor comprende los estados de ánimo de esa persona y más se fortalece el lazo entre ambos.

Nao no solo tiene una personalidad, puede tener varias. Dado que aprende a base de interacciones con los humanos y que cada interacción es única, con el tiempo empiezan a emerger diferentes personalidades. Por ejemplo, una puede ser muy independiente y no necesitar mucha orientación humana. Otra puede ser tímida y temerosa, que se asuste de los objetos que hay en la habitación y necesite constantemente la intervención humana.

El director del proyecto Nao es la doctora Lola Cañamero, científica informática de la Universidad de Hertfordshire. Para iniciar este ambicioso proyecto, analizó las interacciones de los chimpancés. Su objetivo era reproducir con la mayor fidelidad posible el comportamiento emotivo de un chimpancé de un año.

Ella piensa en aplicaciones inmediatas para estos robots emotivos. Como la doctora Breazeal, quiere utilizarlos para aliviar la angustia de los niños hospitalizados. «Queremos explorar diferentes funciones —dice—. Los robots ayudarán a los niños a entender su tratamiento y les explicarán lo que tienen que hacer. Queremos ayudar a los niños a controlar su angustia.»

Otra posibilidad es que los robots actúen como acompañantes en las clínicas y residencias. Nao podría llegar a ser una valiosa incorporación al personal de un hospital. En algún momento, podrían convertirse en compañeros de juegos de los niños y en parte de la familia.

«Es difícil predecir el futuro, pero antes de que pase mucho tiempo, el ordenador que tienes delante

será un robot social. Podrás hablar, coquetear e incluso enfadarte con él y gritarle… y él te entenderá y comprenderá tus emociones», dice el doctor Terrence Sejnowski, del Instituto Salk, cerca de San Diego.[12] Esta es la parte fácil. La parte difícil es modular la respuesta del robot, dada esta información. Si el propietario está furioso o disgustado, el robot tiene que ser capaz de integrar esto en su respuesta.

EMOCIONES: DETERMINAR QUÉ ES IMPORTANTE

Los investigadores de inteligencia artificial han empezado a darse cuenta de que las emociones pueden ser una llave para la conciencia. Neurólogos como el doctor António Damasio han descubierto que cuando se lesiona la conexión entre el lóbulo prefrontal (que gobierna el pensamiento racional) y los centros emocionales (como el sistema límbico), los pacientes no pueden realizar juicios de valor.[13] Quedan paralizados cuando tienen que tomar la más simple de las decisiones (qué cosas comprar, a qué hora fijar una cita, qué color de rotulador emplear) porque para ellos todo tiene el mismo valor. En este sentido, las emociones no son un lujo, son absolutamente imprescindibles, y sin ellas el robot tendrá dificultades para determinar qué es importante y qué no. Y así las emociones, en lugar de ser periféricas en el progreso de la inteligencia artificial, adquieren una importancia central.

En caso de incendio, un robot podría rescatar archivos de ordenador antes que a las personas, porque tal vez su programación diga que los documentos valiosos no se pueden sustituir pero los trabajadores sí. Es fundamental que los robots estén programados para distinguir lo que es importante de lo que no, y las emociones son atajos que el cerebro utiliza para determinar esto rápidamente. Así pues, los robots tendrían que estar programados para tener un sistema de valores: que la vida humana es más importante que los objetos materiales, que en una emergencia hay que rescatar primero a los niños, que los objetos más costosos son más valiosos que aquellos de menor precio, etcétera. Como los robots no vienen equipados con valores, habría que cargar en los robots una enorme lista de juicios de valor.

Pero el problema que tienen las emociones es que a veces son irracionales, mientras que los robots son matemáticamente precisos. Por eso la conciencia de silicio puede diferir de la conciencia humana en aspectos clave. Por ejemplo, los seres humanos tienen poco control sobre las emociones, porque estas se presentan muy rápidamente y se originan en el sistema límbico, no en la corteza prefrontal del cerebro. Además, nuestras emociones están muchas veces condicionadas. Numerosos estudios han demostrado que tendemos a sobreestimar las capacidades de las personas guapas o atractivas. La gente atractiva tiende a ascender más en la sociedad y a conseguir mejores empleos, aunque pueda no tener tanto talento como otros. Como se suele decir, «la belleza tiene sus privilegios».

De manera similar, la conciencia de silicio puede no tener en cuenta sutiles pistas que los humanos utilizamos cuando nos encontramos con los demás, como el lenguaje corporal. Cuando varias personas entran en una habitación, los jóvenes tienden a ceder el paso a los mayores y el personal subalterno trata con más cortesía a los altos cargos. Manifestamos nuestra deferencia en la manera de mover el cuerpo, en nuestra elección de palabras y en nuestros gestos. Dado que el lenguaje corporal es más antiguo que el hablado, está implantado en nuestro cerebro de maneras sutiles. Si queremos que los robots interactúen socialmente con la gente, tendrán que aprender estas pistas inconscientes.

Esto se debe a que nuestra conciencia está influida por peculiaridades de nuestro pasado evolutivo, cosa que los robots no tienen, por lo que la conciencia de silicio puede no tener las mismas lagunas o sutilezas que la nuestra.

MENÚ DE EMOCIONES

Puesto que las emociones se tienen que programar en los robots desde fuera, puede que los fabricantes ofrezcan un menú de emociones cuidadosamente seleccionadas por considerarse necesarias, útiles o porque aumentan la conexión con el propietario.

Lo más probable es que se programe a los robots para que tengan solo unas pocas emociones humanas, dependiendo de la situación. Puede que la más valorada por el propietario del robot sea la lealtad. Quien adquiera un robot querrá uno que cumpla fielmente las órdenes sin quejarse, que comprenda sus necesidades y se anticipe a ellas. Lo que menos desea un propietario es un robot con una actitud respondona, criticona y quejica. Las críticas con intención de ayudar son importantes, pero deben hacerse de manera constructiva y con tacto. Además, si los humanos le dan órdenes contradictorias, el robot tiene que saber ignorarlas todas excepto las que vienen de su dueño.

La empatía sería otra emoción valorada por los propietarios. Un robot con empatía comprenderá los problemas de los demás y acudirá en su ayuda. Interpretando los movimientos faciales y escuchando el tono de la voz, los robots podrán distinguir cuándo una persona está en apuros, y ofrecerán ayuda cuando sea posible.

Aunque parezca extraño, el miedo es otra emoción deseable. La evolución nos proporcionó esta sensación por una razón, para evitar ciertas cosas que son peligrosas para nosotros. Aunque los robots estén hechos de acero, deberían temer algunas cosas que puedan dañarlos, como caer de un edificio alto o entrar en un incendio. Un robot que no tenga miedo de nada será inútil si se destruye a sí mismo.

Pero ciertas emociones, como la ira, tendrán que ser eliminadas, prohibidas o cuidadosamente reguladas. Dado que se pueden construir robots con mucha fuerza física, un robot enfurecido podría causar tremendos problemas en el hogar y en el trabajo. La ira podría interferir con sus deberes y

ocasionar grandes daños en las propiedades. (El propósito evolutivo de la ira era demostrar nuestra insatisfacción. Esto se puede hacer de manera racional y desapasionada, sin ponerse furioso.)

Otra emoción que habría que eliminar es el deseo de tomar el mando. Un robot con afán de dominio no causará más que problemas y se opondrá a las opiniones y deseos de su propietario. (Esto también tendrá importancia más adelante, cuando discutamos si algún día los robots dominarán a los humanos.) El robot tendrá que aceptar los deseos de su propietario, aunque este no sea el mejor camino.

Pero seguramente la emoción más difícil de transmitir es el humor, que es un pegamento capaz de unir a completos desconocidos. Una simple broma puede relajar una situación tensa o inflamarla. La mecánica básica del humor es simple: hay una frase o desenlace que no se esperaba. Pero las sutilezas del humor pueden ser enormes. De hecho, muchas veces catalogamos a las personas basándonos en cómo reaccionan a ciertos chistes. Si los seres humanos usamos el humor como instrumento de medida para calibrar a los demás, podemos darnos cuenta de la dificultad de crear un robot que pueda distinguir si un chiste es gracioso o no. El presidente Ronald Reagan, por ejemplo, era famoso por quitar hierro a las cuestiones más peliagudas con una agudeza. De hecho, tenía acumulado un gran catálogo de tarjetas con chistes, bromas y ocurrencias, porque conocía el poder del humor. (Algunos expertos llegaron a la conclusión de que ganó el debate electoral contra Walter Mondale cuando le preguntaron si no era demasiado viejo para ser presidente. Reagan respondió que él no le estaba echando en cara a su rival su juventud.) Por otra parte, una risa inoportuna puede tener consecuencias desastrosas (y a veces se considera una señal de enfermedad mental). El robot tiene que conocer la diferencia entre reírse con alguien o de alguien. (Los actores son muy conscientes de la naturaleza diversa de la risa. Son lo bastante hábiles para generar risas que pueden representar horror, cinismo, alegría, ira, tristeza, etcétera.) Así pues, al menos hasta que la teoría de la inteligencia artificial se desarrolle más, los robots deberían abstenerse del humor y la risa.

PROGRAMAR EMOCIONES

En estos comentarios sobre las emociones, hasta ahora hemos eludido la difícil cuestión de cómo se programarían exactamente estas emociones en un ordenador. Dada la complejidad del asunto, esto se haría por etapas.

Primero, la parte más fácil es identificar una emoción analizando los gestos de la cara, los labios, las cejas y el tono de voz de la persona. En la actualidad, la tecnología de reconocimiento facial ya es capaz de crear un diccionario de emociones, en el que ciertas expresiones de la cara significan determinadas cosas. En realidad, el proceso se remonta a Charles Darwin, que pasó una cantidad considerable de tiempo catalogando emociones comunes a los animales y los seres humanos.

Segundo, el robot debe responder rápidamente a esta emoción. Esto también es fácil. Si alguien se está riendo, el robot sonreirá. Si alguien está furioso, el robot se apartará de su camino y evitará el conflicto. El robot tendría una enorme enciclopedia de emociones en su programación y así sabría cómo dar una rápida respuesta a cada una.

Tercero, es tal vez la etapa más complicada, implica intentar determinar la motivación que subyace tras la emoción original. Esto es difícil, porque hay muchas situaciones diferentes que pueden desencadenar la misma emoción. La risa puede significar que estamos contentos, que acabamos de oír un chiste o que hemos visto a alguien caerse. También podría significar que estamos nerviosos, ansiosos o insultando a alguien. De manera similar, si alguien chilla, puede que se trate de una emergencia o que simplemente esté reaccionando con alegría y sorpresa. Determinar el motivo que hay detrás de una emoción resulta difícil hasta para los humanos. Para que un robot pueda hacerlo, tendría que consultar una lista de todas las razones posibles de una emoción y procurar seleccionar la que tiene más sentido. Esto significa encontrar un motivo que explique la emoción y que se ajuste mejor que otros a los datos.

Cuarto, cuando el robot haya determinado el origen de esta emoción, tendrá que dar la respuesta adecuada. Esto también es difícil, porque existen varias opciones posibles, y una respuesta equivocada podría empeorar la situación. El robot ya tiene en su programación una lista de posibles respuestas a la emoción original. Tiene que decidir cuál se adecuará mejor a la situación, lo que significa hacer una simulación del futuro.

¿PODRÁN MENTIR LOS ROBOTS?

Normalmente, solemos pensar en los robots como seres fríos, analíticos y racionales, que siempre dicen la verdad. Pero cuando estén integrados en la sociedad, probablemente tendrán que aprender a mentir, o al menos a reprimir con tacto sus comentarios.

En nuestra vida cotidiana, cada día nos enfrentamos a varias situaciones en las que tenemos que decir una pequeña mentira. Si alguien nos pregunta qué aspecto tiene, muchas veces no nos atrevemos a decir la verdad. Mentirijillas. De hecho, son como un lubricante que hace que la sociedad funcione sin roces. Si de pronto nos viéramos obligados a decir siempre toda la verdad (como Jim Carrey en *Mentiroso compulsivo*), lo más probable es que acabáramos sembrando el caos y haciendo daño a la gente. Los otros se sentirían insultados si les dijéramos qué aspecto tienen o qué opinamos de verdad. Nuestro jefe nos despediría. Nuestros amantes nos dejarían. Nuestros amigos nos abandonarían. Los desconocidos nos abofetearían. Algunos pensamientos es mejor guardárselos para uno mismo.

De la misma manera, los robots tendrán que aprender a mentir u ocultar la verdad; de lo contrario, acabarían ofendiendo a la gente y siendo devueltos por sus propietarios. Si el robot dice la verdad en

una fiesta, puede desprestigiar a su dueño y causar un alboroto. De modo que si alguien le pregunta su opinión, tendrá que aprender a ser evasivo, diplomático y discreto. Puede eludir la pregunta, cambiar de tema, responder con obviedades o con otra cuestión, o decir mentirijillas (los chat-bots actuales son cada vez mejores en todas estas cosas). Esto significa que el robot tiene que estar ya programado con una lista de posibles respuestas evasivas y elegir la que acarree menos complicaciones.

Una de las pocas ocasiones en las que el robot tendría que decir toda la verdad sería cuando es su dueño el que le hace una pregunta directa, sabiendo que la respuesta puede ser brutalmente sincera. Puede que la única otra situación en la que el robot tenga que ser sincero sea en una investigación policial, donde es necesaria toda la verdad. Aparte de eso, los robots podrían mentir u ocultar parte de la verdad para que los engranajes de la sociedad sigan funcionando.

En otras palabras, habrá que socializar a los robots igual que a los adolescentes.

¿PUEDEN LOS ROBOTS SENTIR DOLOR?

Los robots en general se asignarán a tipos de tareas que son aburridas, sucias o peligrosas. No hay razón para que los robots no puedan hacer trabajos repetitivos o sucios indefinidamente, ya que no los programaríamos para que sientan aburrimiento o asco. El verdadero problema surgiría cuando los robots se enfrenten a tareas peligrosas. En este caso, sí podría haber un interés en programarlos para que sientan dolor.

Nosotros desarrollamos por evolución un sentido del dolor porque nos ayudaba a sobrevivir en un entorno peligroso. Hay niños que nacen con un defecto genético que les priva de la capacidad de sentir dolor. Se llama «analgesia congénita». A primera vista, puede parecer una suerte, porque estos niños no lloran cuando se dan un golpe, pero en realidad es una maldición. Los niños con este defecto tienen problemas muy graves, como arrancarse a mordiscos trozos de la lengua o sufrir graves quemaduras o cortes que muchas veces conducen a la amputación de dedos. El dolor nos alerta del peligro, diciéndonos que hay que apartar la mano de la estufa encendida o que hay dejar de correr cuando te has torcido un tobillo.

En algún momento habrá que programar a los robots para que sientan dolor, pues de lo contrario no sabrían cuándo hay que evitar situaciones de riesgo. La primera sensación de dolor que deberán tener será el hambre (es decir, la necesidad de energía eléctrica). Cuando se agoten sus baterías, sentirán angustia y urgencia, al darse cuenta de que sus circuitos se apagarán pronto, dejando todo su trabajo a medio hacer. Cuanto menos les falte para quedarse sin energía, más angustiados se pondrán.

Además, por muy fuertes que sean, los robots pueden intentar levantar un objeto demasiado pesado, con riesgo de romperse los miembros. O pueden calentarse en exceso si trabajan con metal

fundido en una fábrica de acero o entran en un edificio en llamas para ayudar a los bomberos. Unos sensores de temperatura y tensión les avisarían de que están sobrepasando sus especificaciones de diseño.

Pero en cuanto se añade la sensación de dolor a su menú de emociones, se plantean inmediatamente cuestiones éticas. Muchas personas creen que no deberíamos infligir dolor innecesario a los animales, y es posible que sean del mismo parecer en el caso de los robots. Esto abre la puerta a los derechos de los robots. Habrá que elaborar leyes para restringir la cantidad de dolor y peligro a la que los robots puedan enfrentarse legalmente. A nadie le importará que estos realicen trabajos monótonos o sucios, pero si sienten dolor al desarrollar una tarea peligrosa, pueden aparecer grupos de presión pidiendo leyes para protegerlos. Esto puede dar lugar incluso a un conflicto legal con los propietarios y fabricantes de robots pidiendo que se eleve el nivel de dolor que puede soportar un robot, y los grupos éticos insistiendo en que se rebaje.

A su vez, pueden surgir otros debates éticos sobre los derechos de los robots. ¿Pueden tener propiedades? ¿Qué pasa si hacen daño a alguien por accidente? ¿Se les puede demandar o castigar? ¿Quién es el responsable en un pleito? ¿Puede un robot poseer otro robot? Y esta discusión plantea otra cuestión peliaguda: ¿se les debería dar un sentido de la ética?

ROBOTS ÉTICOS

A primera vista, la idea de los robots éticos parece una pérdida de tiempo y esfuerzo. Sin embargo, esta cuestión adquiere un carácter urgente cuando nos damos cuenta de que los robots tomarán decisiones de vida o muerte. Dado que serán físicamente fuertes y tendrán la capacidad de salvar vidas, deberán tomar decisiones éticas instantáneas sobre a quién salvar primero.

Supongamos que ocurre un terremoto catastrófico y hay niños atrapados en un edificio que se derrumba rápidamente. ¿Cómo debe administrar el robot su energía? ¿Debe intentar salvar al mayor número de niños? ¿O a los más pequeños? ¿O a los más vulnerables? Si los escombros son muy pesados, el robot puede sufrir daños en su sistema electrónico. Así que el robot tendrá que decidir una cuestión ética más: ¿cómo valorar el número de niños salvados frente a la cantidad de daños sufridos por su electrónica?

Sin la programación adecuada, el robot podría simplemente detenerse, esperando a que un humano tomase la decisión definitiva y perdiendo así un tiempo valiosísimo. Por lo tanto, alguien tendrá que programarlo por adelantado, para que el robot tome automáticamente la decisión «correcta».

Estas decisiones éticas tendrán que estar programadas en el ordenador desde el principio, ya que no existe una ley matemática que pueda asignar un valor a salvar a un grupo de niños. En su programación tendrá que haber una larga lista de cosas, ordenadas por su grado de importancia. Es

un asunto tedioso. De hecho, a veces se tarda toda una vida humana en aprender estas lecciones éticas, pero un robot tendrá que asimilarlas rápidamente, antes de salir de la fábrica, para poder entrar en la sociedad de modo seguro.

Solo las personas pueden hacer esto y, aun así, hay dilemas éticos que a veces nos dejan confusos. Y este hecho plantea más cuestiones: ¿quién tomará las decisiones?; ¿quién decide en qué orden deben los robots salvar vidas humanas?

Probablemente, la cuestión de quién tomará las decisiones se resolverá mediante una combinación de legislación y mercado. Habrá que aprobar leyes para que exista, como mínimo, un orden de importancia sobre a quién salvar en una emergencia. Pero aparte de esto, hay miles de cuestiones éticas menores. Estas decisiones más sutiles podrían decidirlas el mercado y el sentido común.

Si trabajamos para una empresa de seguridad que protege a personas importantes, tendremos que indicarle al robot cómo salvar a la gente en un orden preciso en diferentes situaciones, basándose en consideraciones como cumplir la tarea primaria pero sin salirse del presupuesto.

¿Qué ocurre si un delincuente compra un robot y quiere que este cometa un delito? Esto planea otra cuestión: ¿se debería permitir que un robot desobedezca a su dueño si este le pide que quebrante la ley? Ya vimos en el ejemplo anterior que los robots tienen que estar programados para comprender la ley y también para tomar decisiones éticas. Entonces, si decide que se le está pidiendo que infrinja la ley, se le debería permitir desobedecer a su dueño.

Existe también el problema ético planteado por robots que reflejen las creencias de sus propietarios, quienes pueden tener principios morales y normas sociales diferentes. Las «guerras culturales» que vemos en la sociedad actual se magnificarán cuando existan robots que reflejen las opiniones y creencias de sus dueños. En cierto sentido, este conflicto es inevitable. Los robots son prolongaciones mecánicas de los sueños y deseos de sus creadores, y cuando sean lo bastante sofisticados, eso es lo que harán.

Las líneas de fractura de la sociedad se pueden acentuar cuando los robots empiecen a manifestar comportamientos que contradigan nuestros valores y objetivos. Los robots pertenecientes a jóvenes que salen de un ruidoso y bullicioso concierto de rock pueden entrar en conflicto con aquellos propiedad de personas mayores, residentes en un barrio tranquilo. El primer conjunto de robots puede estar programado para amplificar los sonidos de las bandas más modernas, mientras que el segundo puede estarlo para mantener los niveles de ruido en un mínimo absoluto. Los robots propiedad de los devotos de una iglesia fundamentalista pueden enzarzarse en discusiones con los de los ateos. Los robots de diferentes naciones y culturas pueden estar diseñados para reflejar las costumbres de sus sociedades, que pueden chocar unas con otras (ocurre con los humanos, así que no digamos con los robots).

¿Cómo, pues, habrá que programar a los robots para eliminar estos conflictos? No se puede. Los robots, simplemente, reflejarán las actitudes y prejuicios de sus creadores. En último término, las

diferencias culturales y éticas entre estos robots tendrán que resolverse en los tribunales. No existe una ley de la física o de la ciencia que determine estas cuestiones morales, así que habrá que redactar leyes que aborden estos conflictos sociales. Los robots no pueden resolver los problemas morales creados por los humanos. De hecho, pueden llegar a amplificarlos.

Pero si los robots pueden tomar decisiones éticas y legales, ¿pueden también sentir y comprender las sensaciones? Si consiguen salvar a alguien, ¿pueden experimentar alegría? ¿Pueden incluso sentir cosas como el color «rojo»? Una cosa es analizar fríamente la ética de a quién se debe salvar, y otra es comprender y sentir. ¿Pueden los robots sentir?

¿PUEDEN LOS ROBOTS COMPRENDER O SENTIR?

A lo largo de los siglos se han propuesto muchas teorías sobre si una máquina puede ser capaz de pensar y sentir. Mi filosofía personal se llama «constructivismo». Es decir, en lugar de debatir la cuestión hasta el infinito, lo cual no tendría sentido, deberíamos dedicar nuestra energía a crear un autómata para ver hasta dónde podemos llegar. De otro modo, acabaremos enzarzados en interminables debates filosóficos que nunca se resuelven. La ventaja de la ciencia es que, cuando ya se ha dicho y hecho todo, se pueden realizar experimentos para zanjar definitivamente la cuestión.

Así pues, para resolver la cuestión de si un robot es capaz de pensar, la solución tendría que pasar por construir uno. No obstante, hay quien argumenta que las máquinas nunca podrán pensar como un ser humano. Su principal argumento es que, aunque un robot puede procesar datos más deprisa que un humano, no «comprende» lo que está haciendo. Aunque pueda procesar sensaciones (colores o sonidos) mejor que un humano, no puede «sentir» o «experimentar» de verdad la esencia de esas sensaciones.

Por ejemplo, el filósofo David Chalmers ha dividido los problemas de la inteligencia artificial en dos categorías: los problemas fáciles y los problemas difíciles. Para él, los problemas fáciles son los de crear máquinas que puedan imitar cada vez más habilidades humanas, como jugar al ajedrez, sumar números, reconocer ciertos patrones, etcétera. Los problemas difíciles surgen al crear máquinas capaces de comprender sentimientos y sensaciones subjetivas, los llamados «qualia».

Así como es imposible explicarle el significado del color «rojo» a una persona ciega, un robot nunca podrá experimentar la sensación subjetiva del color rojo. También se dice que un ordenador puede ser capaz de traducir un texto chino al inglés con gran fluidez, pero que nunca será capaz de comprender lo que está traduciendo. Según esta visión, los robots son como grabadoras o calculadoras superdesarrolladas, capaces de recitar y procesar información con increíble precisión, pero sin comprender nada.

Estos argumentos hay que tomarlos en serio, pero hay otra manera de considerar la cuestión de los

qualia y la experiencia subjetiva. En el futuro, es muy probable que una máquina pueda procesar una sensación, como el color rojo, mucho mejor que un humano. Será capaz de describir las propiedades físicas del rojo e incluso de utilizarlo poéticamente en una frase mejor que un humano. ¿«Siente» el robot el color rojo? Esto se hace irrelevante, ya que la palabra «sentir» no está bien definida. Llegados a cierto punto, la descripción del color rojo hecha por un robot puede superar a la de un ser humano y podría preguntarse con fundamento si las personas comprenden de verdad el color rojo. Es posible que los humanos no puedan entender de manera auténtica el color rojo con todos los matices y sutilezas de los que es capaz un robot.

Según el behaviorista B. F. Skinner: «El verdadero problema no es si las máquinas piensan, sino si los hombres piensan».

De manera similar, es solo cuestión de tiempo que un robot sea capaz de definir palabras chinas y usarlas en un contexto mucho mejor que cualquier humano. Llegados a ese punto, es irrelevante si el robot «entiende» el idioma chino. Para todos los propósitos prácticos, el ordenador sabrá chino mejor que cualquier humano. En otras palabras, la palabra «comprender» no está bien definida.

Algún día, cuando los robots superen nuestra habilidad para manipular estas palabras y sensaciones, será irrelevante si el robot las «comprende» o las «siente». La cuestión dejará de tener importancia. Para el matemático John von Neumann, «en matemáticas no comprendes las cosas. Te acostumbras a ellas».[14]

Así pues, el problema no está en el hardware, sino en la naturaleza del lenguaje humano, en el que las palabras que no están bien definidas significan distintas cosas para diferentes personas. Al gran físico cuántico Niels Bohr le preguntaron en una ocasión cómo podíamos comprender las extrañas paradojas de la teoría cuántica. La respuesta, dijo, está en cómo definamos la palabra «comprender».

El doctor Daniel Dennett, filósofo de la Universidad Tufts, ha escrito: «Puede que no exista una prueba objetiva para distinguir un robot inteligente de una persona consciente. Ahora podemos elegir: o te aferras al problema difícil, o meneas la cabeza con admiración y te desentiendes de él. Desentiéndete».[15]

En otras palabras, no existe el problema difícil.

Para la filosofía constructivista, lo que importa no es debatir sobre si una máquina puede experimentar el color rojo, sino construir la máquina. Según este concepto, hay una gradación continua de niveles que describen las palabras «comprender» y «sentir». (Esto significa que incluso sería posible asignar valores numéricos al grado de comprensión y sensación.) En un extremo tenemos los torpes robots de hoy en día, que pueden procesar unos cuantos símbolos, pero no mucho más. En el otro tenemos a los seres humanos, que se enorgullecen de sentir los qualia. Pero a medida que pase el tiempo, los robots irán siendo capaces de describir sensaciones mejor que nosotros a cualquier nivel. Entonces se hará evidente que el robot comprende.

Esta era la filosofía en la que se basaba la famosa prueba de Alan Turing, quien predijo que algún

día se construiría una máquina capaz de responder a cualquier pregunta, lo que la haría indistinguible de un ser humano. «Un ordenador merecería ser llamado inteligente —dijo— si es capaz de engañar a un ser humano y hacerle creer que es otro humano.»

El físico y Premio Nobel de Medicina Francis Crick lo expresó mejor. En el siglo pasado, destacó, los biólogos mantenían acalorados debates sobre la pregunta «¿qué es la vida?». Ahora, con nuestro conocimiento del ADN, los científicos se dan cuenta de que la pregunta no está bien planteada. Existen muchas variaciones, capas y complejidades en esa sencilla cuestión. La pregunta «¿qué es la vida?» simplemente dejó de plantearse. Con el tiempo lo mismo sucederá con la sensación y la comprensión.

ROBOTS CONSCIENTES DE SÍ MISMOS

¿Qué pasos habrá que dar para que ordenadores como Watson sean conscientes de sí mismos? Para responder a esta pregunta tendremos que volver a nuestra definición de conciencia de uno mismo: la capacidad de incluirse a sí mismo en un modelo de nuestro entorno y después hacer simulaciones de este modelo en situaciones futuras para lograr un objetivo. Lo primero requiere un nivel muy alto de sentido común, con el fin de anticipar una variedad de sucesos. A continuación, el robot tiene que incluirse en este modelo, lo que exige comprender las distintas vías de acción que puede tomar.

En la Universidad de Meiji, los científicos han dado los primeros pasos para crear un robot con conciencia de sí mismo.[16] Es una empresa muy ambiciosa, pero ellos creen que podrán hacerlo creando robots con una teoría de la mente. Empezaron por construir dos robots. El primero estaba programado para ejecutar ciertos movimientos. El segundo estaba programado para observar al primer robot y copiar lo que este hacía. Consiguieron construir un segundo robot que podía imitar sistemáticamente el comportamiento del primero solo con mirarlo. Es la primera vez en la historia que se ha construido un robot específicamente para que tenga alguna sensación de conciencia de sí mismo. El segundo robot tiene una teoría de la mente; es decir, es capaz de observar a otro robot y después imitar sus movimientos.

En 2012, unos científicos de la Universidad de Yale dieron el siguiente paso al crear un robot que pasó la prueba del espejo. Cuando se coloca a un animal delante de un espejo, casi todos piensan que la imagen reflejada es otro animal. Recordemos que solo unos pocos animales han pasado la prueba del espejo, dándose cuenta de que la imagen era un reflejo de sí mismos. Los científicos de Yale construyeron un robot llamado Nico, que parece un esqueleto estrafalario hecho de cables retorcidos, con brazos mecánicos y dos ojos saltones en lo alto. Cuando se le puso delante de un espejo, Nico no solo se reconoció, sino que además fue capaz de localizar la posición de los objetos de una habitación mirando sus imágenes en el espejo. Esto es similar a lo que hacemos nosotros cuando

miramos en un espejo retrovisor y deducimos la situación de los objetos.

El programador de Nico, Justin Hart, dice: «Que nosotros sepamos, este es el primer sistema robótico que intenta utilizar un espejo de este modo, lo que representa un importante paso hacia una arquitectura cohesiva que permita a los robots aprender sobre sus cuerpos y su apariencia por medio de la autoobservación, una importante capacidad necesaria para pasar la prueba del espejo».[17]

Dado que los robots de las universidades de Meiji y Yale representan el último grito en la construcción de robots con conciencia propia, es fácil darse cuenta de que todavía queda mucho camino por recorrer antes de que los científicos tengan robots con una autoconciencia parecida a la humana.

Su trabajo es solo el primer paso, porque nuestra definición de conciencia de uno mismo exige que el robot utilice esta información para crear simulaciones del futuro. Esto está muy por encima de la capacidad de Nico o de cualquier otro robot.

Y plantea una importante pregunta: ¿cómo puede un ordenador adquirir plena conciencia de sí mismo? En la ciencia ficción encontramos con frecuencia una situación en la que internet se hace de pronto consciente de sí misma, como en la película *Terminator*. Dado que internet está conectada a toda la infraestructura de la sociedad moderna (por ejemplo, nuestros sistemas de alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones y armamento), sería fácil que una internet consciente de sí misma tomara el control de la sociedad. En una situación así, estaríamos indefensos. Los científicos han dicho que esto podría ocurrir y sería un ejemplo de «fenómeno emergente» (es decir, cuando conectas un número suficientemente grande de ordenadores, puede darse una repentina transición de fase a un estado superior, sin ninguna entrada más desde el exterior).

Sin embargo, esto lo dice todo y no dice nada, porque deja fuera todos los importantes pasos intermedios. Es como decir que una autopista puede adquirir conciencia de sí misma si existen suficientes carreteras.

Pero en este libro hemos dado una definición de conciencia y de autoconciencia, así que sería posible enumerar los pasos por los que internet puede adquirir conciencia de sí misma.

En primer lugar, una internet inteligente tendría que construir continuamente modelos de su posición en el mundo. En principio, esta información se podría programar en internet desde fuera. Esto implicaría describir el mundo exterior (es decir, la Tierra, sus ciudades y sus ordenadores), todo lo cual se puede encontrar en la misma internet.

En segundo lugar, tendría que incluirse a sí misma en el modelo. Esta información también es fácil de obtener. Implicaría incluir todas las especificaciones de internet (el número de ordenadores, nódulos, líneas de transmisión, etcétera) y su relación con el mundo exterior.

Pero el tercer paso es, con diferencia, el más difícil. Significa proyectar continuamente simulaciones de este modelo en el futuro, que sean consistentes con un objetivo. Aquí es donde nos topamos con un muro de ladrillo. Internet no es capaz de crear simulaciones del futuro y tampoco

tiene objetivos. Incluso en el mundo científico, las simulaciones se suelen hacer con solo unos pocos parámetros (por ejemplo, simular la colisión de dos agujeros negros). Construir una simulación del modelo del mundo que incluya internet está muy por encima de la programación de que disponemos en la actualidad. Tendría que incorporar todas las leyes del sentido común, la física, la química y la biología, además de datos sobre la conducta y la sociedad humanas.

Además, internet tendría que tener un objetivo. En la actualidad no es más que una red pasiva de carreteras, sin dirección ni propósito. Por supuesto, en principio se le puede imponer un objetivo a internet. Pero consideremos el siguiente problema: ¿podemos crear una internet cuyo objetivo sea la propia conservación?

Este sería el objetivo más simple posible, pero nadie sabe cómo programar esta sencilla tarea. Un programa de este tipo tendría que, por ejemplo, detener cualquier intento de cerrar internet desconectándola. Por el momento, internet es completamente incapaz de reconocer una amenaza a su existencia, y mucho menos de planear maneras de impedirla. (Una internet capaz de detectar amenazas a su existencia tendría que ser capaz de apagarse, cortar las líneas de comunicación, destruir sus servidores, incapacitar sus conexiones por fibra óptica y por satélite, etcétera. Además, una internet capaz de defenderse de estos ataques tendría que disponer de contramedidas para cualquier situación y después proyectar estos intentos en el futuro. Ningún ordenador del mundo es capaz de hacer ni siquiera una fracción de estas cosas.)

En otras palabras, algún día podría ser posible crear robots con conciencia de sí mismos, e incluso una internet con conciencia de sí misma, pero ese día está muy lejos en el futuro, tal vez a finales de este siglo.

No obstante, supongamos por un momento que el día ha llegado, que entre nosotros caminan robots conscientes de sí mismos. Si estos tienen objetivos compatibles con los nuestros, este tipo de inteligencia artificial no planteará ningún problema. Pero ¿qué ocurrirá si las metas son diferentes? Lo que se teme es que los humanos sean superados en inteligencia por los robots autoconscientes y acaben esclavizados. Gracias a su capacidad superior de simular el futuro, los robots podrían predecir los resultados de muchas situaciones y encontrar la mejor manera de derrocar a la humanidad.

Una manera de controlar este proceso sería asegurarse de que los objetivos de estos robots sean benévolos. Como hemos visto, no basta con las simulaciones del futuro. Estas deben servir a algún objetivo final. Si el objetivo de un robot es simplemente la autoconservación, podría reaccionar de manera defensiva a cualquier intento de desactivarlo, lo que podría significar problemas para la humanidad.

¿TOMARÁN LOS ROBOTS EL PODER?

En casi todas las historias de ciencia ficción los robots se vuelven peligrosos a causa de su deseo de hacerse con el poder. La palabra «robot», en realidad, deriva de la palabra checa que significa «trabajador» y apareció por primera vez en la obra de 1920 *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)* de Karel Capek, en la que los científicos crean una nueva raza de seres mecánicos que parecen idénticos a los humanos. En poco tiempo hay miles de estos robots realizando tareas serviles y peligrosas. Pero los humanos los maltratan, y un día ellos se rebelan y destruyen a la especie humana. Aunque estos robots se convierten en los amos del mundo, tienen un problema: no pueden reproducirse. Pero al final de la obra, dos robots se enamoran. Así que es posible que emerja una nueva rama de la «humanidad».

Una posibilidad más realista es la de la película *Terminator*, en la que el ejército ha creado una red de superordenadores llamada Skynet que controla todo el arsenal nuclear estadounidense. Un día la red «despierta» y se vuelve consciente. Los militares intentan desactivar la Skynet, pero entonces se dan cuenta de que hay un fallo en su programación: está diseñada para protegerse a sí misma y la única manera de hacerlo es eliminar el problema: la humanidad. De modo que inicia una guerra nuclear que reduce la humanidad a una pequeña chusma de marginales y rebeldes que luchan contra las imparables máquinas.

Desde luego, es posible que los robots se conviertan en un peligro. Ahora mismo, el misil Predator puede localizar su objetivo con mortífera precisión, pero está controlado por alguien con un joystick a miles de kilómetros de distancia. Según *The New York Times*, la orden de disparo tiene que provenir directamente del presidente de Estados Unidos. Pero en el futuro, un misil Predator puede disponer de tecnología de identificación y permiso para disparar si está seguro en un 99 por ciento de la identidad de su blanco. Podría utilizar esta tecnología sin intervención humana para disparar contra cualquiera que encaje en el perfil.

Supongamos ahora que uno de estos misiles Predator sufre una avería y su software de reconocimiento funciona mal. Se convertiría en un robot descontrolado con permiso para matar a cualquiera que vea. Peor aun: imaginemos una flota de estos robots controlados por un centro de mando. Si se fundiera un solo transistor en este ordenador central, toda la flota podría lanzarse a una orgía asesina.

Un problema más sutil sería que los robots funcionaran perfectamente, sin ningún fallo, pero que hubiera un pequeño —aunque fatal— defecto en su programación y sus objetivos. Para un robot, la autoprotección es un objetivo importante; también lo es ayudar a los humanos. El verdadero problema surge cuando estos objetivos se contradicen entre sí.

En la película *Yo, robot*, el sistema informático central llega a la conclusión de que los humanos son autodestructivos, con sus interminables guerras y atrocidades, y que la única manera de proteger a la especie humana es tomar el mando e imponer una dictadura benevolente de las máquinas. En este

caso, la contradicción no se daba entre dos objetivos, sino que estaba en un único objetivo que no era realista. Estos robots asesinos no funcionaban mal: habían llegado a la conclusión lógica de que la única manera de proteger a la humanidad era tomar el control de la sociedad.

Una solución a este problema sería crear una jerarquía de objetivos. Por ejemplo, el deseo de ayudar a los humanos debe estar por encima de la autoprotección. Este tema se exploró en la película *2001: Una odisea del espacio*. El sistema informático HAL 9000 era un ordenador consciente capaz de conversar amigablemente con los seres humanos. Pero las órdenes que se le habían dado a HAL 9000 eran contradictorias en sí mismas y no se podían cumplir de manera lógica. Al intentar ejecutar un objetivo imposible, HALL 9000 se salió de sus casillas, enloqueció, y la única solución para obedecer órdenes contradictorias de los imperfectos humanos era eliminarlos.

La mejor solución podría ser formular una nueva ley de la robótica que disponga que los robots no pueden hacer daño a la especie humana, aun cuando existan contradicciones con sus anteriores instrucciones. Tienen que estar programados para no tener en cuenta las contradicciones de bajo nivel de sus órdenes y cumplir siempre la ley suprema. Pero este sistema podría seguir siendo imperfecto en el mejor de los casos. (Por ejemplo, si el objetivo principal de los robots fuera proteger a la humanidad por encima de cualquier objetivo, todo dependería de cómo definieran los robots la palabra «proteger». Su definición mecánica podría diferir de la nuestra.)

En lugar de reaccionar con terror, algunos científicos, como el doctor Douglas Hofstadter, científico cognitivo de la Universidad de Indiana, no temen a esta posibilidad.

Cuando le entrevisté, me dijo que los robots son como nuestros hijos, entonces, ¿por qué no deberíamos amarlos como a ellos? Según su postura, queremos a nuestros hijos a pesar de que sabemos que algún día se harán con el mando.

Cuando entrevisté al doctor Hans Moravec, ex director del Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad de Carnegie Mellon, se mostró de acuerdo con el doctor Hofstadter.[18] En su libro *Robot* escribe que «liberados de la lenta marcha de la evolución biológica, los hijos de nuestras mentes podrán crecer libremente para afrontar desafíos inmensos y fundamentales en la inmensidad del universo […] Los humanos nos beneficiaremos durante algún tiempo de su trabajo, pero […] como los hijos naturales, ellos buscarán su propio destino mientras nosotros, sus ancianos padres, nos extinguiremos en silencio».[19]

Otros, por el contrario, piensan que esta es una solución horrible. Tal vez se pudiera resolver el problema si hacemos cambios en nuestros objetivos y prioridades ahora, antes de que sea demasiado tarde. Dado que estos robots son nuestros hijos, deberíamos «enseñarles» a ser benevolentes.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL AMISTOSA

Los robots son criaturas mecánicas que fabricamos en un laboratorio, de modo que obtener robots asesinos o amistosos dependerá de la dirección que tome la investigación en inteligencia artificial. Gran parte de la financiación viene del ejército, que tiene la misión específica de ganar guerras, de modo que los robots asesinos son una posibilidad clara.

Sin embargo, dado que el 30 por ciento de los robots comerciales se fabrica en Japón, existe otra posibilidad: los robots se diseñarán desde el primer momento para ser compañeros y trabajadores útiles. Este objetivo es factible si la investigación en robótica está dominada por el sector de los consumidores. La filosofía de la «inteligencia artificial amistosa» expresa que los inventores deben crear robots que, desde el principio mismo, estén programados para ser beneficiosos para los humanos.

En el aspecto cultural, la visión japonesa de los robots es distinta de la occidental. Mientras que en Occidente los niños se aterrorizan viendo robots asesinos tipo Terminator, los niños nipones están educados en la religión sintoísta, que cree que hay espíritus vivos en todas las cosas, incluso en los robots. En lugar de sentirse incómodos al ver robots, los niños japoneses gritan de alegría al encontrarlos. No es de extrañar, pues, que en Japón estos robots estén proliferando en el mercado y en los hogares. Te saludan en los grandes almacenes y te educan en la televisión. En Japón existe incluso una obra teatral seria en la que interviene un robot. (Japón tiene otra razón para que le gusten los robots: son los futuros cuidadores de un país envejecido. El 21 por ciento de la población tiene más de sesenta y cinco años y el país está envejeciendo más deprisa que ninguna otra nación. En cierto sentido, Japón es un tren que descarrila a cámara lenta. En ello intervienen tres factores demográficos. En primer lugar, las mujeres japonesas tienen la mayor expectativa de vida de todos los grupos étnicos del mundo. En segundo lugar, Japón tiene una de las tasas de nacimientos más bajas del mundo. Y en tercer lugar, tiene una política de inmigración muy estricta, con más del 99 por ciento de la población compuesta por japoneses puros. Sin inmigrantes jóvenes que cuiden de los viejos, Japón puede acabar dependiendo de robots cuidadores. El problema no se limita a Japón; la siguiente será Europa. Italia, Alemania, Suiza y otras naciones europeas se enfrentan a presiones demográficas similares. Las poblaciones de Japón y Europa podrían experimentar una grave reducción a mediados de siglo. Estados Unidos no va muy por detrás. También la tasa de nacimiento de ciudadanos estadounidenses ha caído espectacularmente en las últimas décadas, pero la inmigración mantendrá la expansión del país en este siglo. En otras palabras, podría ser conveniente apostar un trillón de dólares a que los robots nos salvarán de estas pesadillas demográficas.)

Japón va a la cabeza del mundo en la creación de robots que pueden entrar en nuestra vida privada. Los japoneses han construido robots que pueden cocinar (son capaces de hacer una sopa de fideos en un minuto y cuarenta segundos). Cuando vamos a un restaurante, podemos marcar un menú en una tableta electrónica y el robot cocinero se pone en acción. Tiene dos grandes brazos mecánicos que agarran los cuencos, cucharas y cuchillos y preparan la comida. Algunos robots cocineros hasta

tienen aspecto humano.

Hay también robots musicales para el entretenimiento. Uno de ellos tiene «pulmones» en forma de acordeón con los que puede generar música soplando aire a través de un instrumento. También hay doncellas robots. Si preparamos con cuidado la colada, ellos la doblan delante nuestro. Existe incluso un robot que puede hablar porque tiene pulmones artificiales, labios, lengua y cavidad nasal. Sony, por ejemplo, construyó el robot AIBO, que parece un perro y puede registrar varias emociones si lo mimamos o acariciamos. Algunos futuristas predicen que algún día la industria robótica será tan grande como lo es ahora la automovilística.

Lo importante aquí es que los robots no están necesariamente programados para destruir y dominar. El futuro de la inteligencia artificial depende de nosotros.

Pero algunos críticos de la inteligencia artificial amistosa alegan que los robots pueden hacerse con el poder, no porque sean agresivos, sino porque somos descuidados al crearlos. En otras palabras, si acaban tomando el poder, será porque los habremos programado con objetivos contradictorios.

«SOY UNA MÁQUINA»

Cuando entrevisté al doctor Rodney Brooks, ex director del Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts y cofundador de iRobot, le pregunté si creía que las máquinas tomarían el poder algún día. Me dijo que tenemos que aceptar que nosotros mismos somos máquinas.[20] Esto significa que algún día seremos capaces de construir máquinas que estén tan vivas como nosotros. Pero advirtió de que tendremos que renunciar al concepto de ser «especiales».

Esta evolución del punto de vista humano comenzó con Nicolás Copérnico, cuando se dio cuenta de que la Tierra no es el centro de universo, sino que da vueltas alrededor del Sol. Continuó con Darwin, quien demostró que somos similares a los animales en nuestra evolución. Y continuará en el futuro, me dijo, cuando nos demos cuenta de que somos máquinas, solo que estamos hechos de *wetware* y no de hardware.

El doctor Brooks cree que aceptar que también nosotros somos máquinas va a representar un importante cambio en nuestra visión del mundo. «No nos gusta renunciar a nuestra condición «especial» —ha escrito—, de modo que la idea de que los robots puedan tener emociones o ser criaturas vivas… creo que va a ser difícil de aceptar. Pero vamos a tener que hacerlo en los próximos cincuenta años.»[21]

Y sobre la cuestión de si los robots acabarán tomando el poder, el doctor Brooks dice que lo más probable es que esto no ocurra, por muy diversas razones. En primer lugar, nadie va a construir accidentalmente un robot que quiera dominar el mundo. Según él, que alguien haga eso de repente es

como que alguien construya por accidente un avión 747. Además, tendremos tiempo de sobra para impedir que eso ocurra. Antes de que se construya un robot «supermalo», alguien tendrá que construir uno «moderadamente malo» y antes de eso tendrá que haber un robot «no demasiado malo».

La filosofía del doctor Brooks se resume en esta sentencia: «Ya vienen los robots, no hay que preocuparse, va a ser divertidísimo». Para él, la revolución de los robots es una certeza, y predice que algún día los robots superarán la inteligencia humana. La única cuestión es cuándo. Será decisión nuestra crearlos para que nos ayuden, no para que nos compliquen la vida.

¿MEZCLARNOS CON ELLOS?

Si se le pregunta al doctor Brooks cómo podremos coexistir con estos robots superinteligentes, su respuesta es clara: nos mezclaremos con ellos. Con los avances de la robótica y las prótesis nerviosas, será posible incorporar inteligencia artificial a nuestros cuerpos.

El doctor Brooks comenta que, en cierto sentido, el proceso ya ha comenzado. Hay en la actualidad unas veinte mil personas que llevan implantes cocleares, gracias a los cuales pueden oír. Los sonidos son captados por un minúsculo receptor que transforma las ondas sonoras en señales eléctricas que se envían a los nervios auditivos del oído.

De manera similar, en la Universidad del Sur de California y en otros lugares, es posible operar a un paciente ciego e implantarle una retina artificial.[22] El método consiste en colocar en las gafas una videocámara en miniatura que transforma una imagen en señales digitales. Estas se envían por conexión inalámbrica a un chip implantado en la retina del paciente. El chip activa los nervios de la retina, y las señales viajan por el nervio óptico hasta el lóbulo occipital del cerebro. De este modo, una persona completamente ciega puede ver una imagen rudimentaria de los objetos familiares. Otro diseño utiliza un chip sensible a la luz, insertado en la retina misma, que envía señales directamente al nervio óptico. Este diseño no necesita una cámara exterior.

Esto significa que podemos ir más lejos y mejorar los sentidos y las capacidades normales. Con los implantes cocleares se pueden oír frecuencias altas que nunca hemos oído antes. Ya es posible, con gafas infrarrojas, ver el tipo específico de luz que emiten los objetos calientes en la oscuridad, y que normalmente es invisible para el ojo humano. Con las retinas artificiales será posible mejorar nuestra capacidad de ver luz ultravioleta o infrarroja. (Las abejas, por ejemplo, pueden ver la luz ultravioleta porque tienen que situar la posición del sol para navegar hasta un campo de flores.)

Algunos científicos sueñan con el día en que los exoesqueletos nos proporcionen superpoderes como los que se ven en los comics: superfuerza, supersentidos y otras supercapacidades. Nos convertiríamos en ciborgs como Iron Man, una persona normal con poderes y habilidades

sobrehumanas. Esto significa que no tendremos que preocuparnos de si los robots superinteligentes toman el poder. Simplemente, nos habremos mezclado con ellos.

Por supuesto, esto ocurrirá en el futuro lejano. Pero algunos científicos, frustrados porque los robots no salen de la fábrica y entran en nuestra vida, señalan que la Madre Naturaleza ya ha creado la mente humana, así que ¿por qué no copiarla? Su estrategia consiste en despiezar el cerebro, neurona a neurona, y después volver a montarlo.

Pero la ingeniería inversa es más que simplemente crear un vasto y detallado plano para construir un cerebro vivo. Si es posible duplicar un cerebro hasta la última neurona, tal vez pudiéramos descargar nuestra conciencia en un ordenador. Tendríamos la posibilidad de dejar atrás nuestros cuerpos mortales. Esto es mucho más que el dominio de la mente sobre la materia; es mente sin materia.

11

Ingeniería inversa del cerebro

> Le tengo tanto cariño a mi cuerpo como el que más, pero si pudiera llegar a los doscientos años con un cuerpo de silicio, me apuntaría.
>
> DANIEL HILL,
> cofundador de Thinking Machines Corp.

En enero de 2013 estallaron dos bombazos que podrían alterar para siempre el panorama médico y científico. De la noche a la mañana la ingeniería inversa del cerebro, que se consideraba demasiado complicada para poder resolverla, se convirtió en un punto focal de rivalidad y orgullo científico entre las mayores potencias económicas del planeta.

En su discurso sobre el estado de la Unión, el presidente Barack Obama dejó atónita a la comunidad científica al anunciar que se iban a destinar fondos públicos, puede que hasta tres mil millones de dólares, a la investigación cerebral, por medio de la iniciativa Neurotecnologías Innovadoras Avanzadas (o BRAIN). Como el Proyecto Genoma Humano, que abrió las puertas a la investigación genética, la iniciativa BRAIN revelará los secretos del cerebro a nivel neuronal, siguiendo sus rutas eléctricas. Una vez que se finalice este mapa del cerebro, se podrían comprender y tal vez curar numerosas enfermedades que ahora no tienen tratamiento, como el alzhéimer, el párkinson, la esquizofrenia, la demencia y el trastorno bipolar. Para darle el empujón de salida a BRAIN, en 2014 se podrían asignar cien millones de dólares al proyecto.

Casi al mismo tiempo, la Comisión Europea anunció que se destinarían mil ciento noventa millones de euros (aproximadamente mil seiscientos millones de dólares) al Proyecto Cerebro Humano, para crear una simulación informática del cerebro.[1] Utilizando la potencia de los mayores superordenadores del planeta, este proyecto creará una copia del cerebro humano hecha de transistores y acero.

Los promotores de ambos proyectos hicieron hincapié en los enormes beneficios de estas iniciativas. El presidente Obama se apresuró a señalar que BRAIN no solo aliviaría los sufrimientos de millones de personas, sino que además generaría nuevas fuentes de ingresos. Por cada dólar

invertido en el Proyecto Genoma Humano, aseguró, se generó aproximadamente ciento cuarenta dólares en actividad económica. De hecho, surgieron industrias enteras al completarse el Proyecto Genoma Humano. Para el contribuyente, BRAIN, como el Proyecto Genoma Humano, será una situación de ganancia segura.

Aunque Obama no dio detalles en su discurso, los científicos llenaron rápidamente muchos de los vacíos. Los neurólogos señalaron que, por una parte, ya es posible utilizar instrumentos de precisión para monitorizar la actividad eléctrica de neuronas individuales. Por otra, con la resonancia magnética es posible seguir el comportamiento global del cerebro. Lo que falta, indicaron, es el terreno intermedio, donde tiene lugar casi toda la actividad interesante del cerebro. Es ahí, que incluye las rutas de miles o millones de neuronas, donde existen enormes vacíos en nuestro conocimiento de las enfermedades mentales y el funcionamiento de la mente.

Para abordar este enorme problema, los científicos han trazado un programa tentativo de quince años. En los cinco primeros años, los neurólogos esperan seguir la actividad eléctrica de decenas de miles de neuronas. A corto plazo, podrían reconstruir la actividad eléctrica de partes importantes del cerebro de animales, como la médula de la mosca de la fruta, *Drosophila*, o las células ganglionarias de la retina de un ratón (con cincuenta mil neuronas).

En diez años, el número debería ascender a cientos de miles de neuronas. Esto podría incluir el cerebro entero de una *Drosophila* (ciento treinta y cinco mil neuronas) e incluso la corteza de la musaraña etrusca, el mamífero más pequeño conocido, con un millón de neuronas.

Por último, en menos que quince años sería posible seguir el funcionamiento de millones de neuronas, el equivalente del cerebro de un pez cebra (*Danio rerio*) o de toda la neocorteza de un ratón. Esto podría abrir el camino a la obtención de imágenes de los cerebros de primates.

Mientras tanto, en Europa, el Proyecto Cerebro Humano abordaría el problema desde un punto de vista diferente. Durante un período de diez años se utilizarían superordenadores para simular el funcionamiento básico de los cerebros de diferentes animales, empezando por ratones y progresando hasta seres humanos. En lugar de trabajar con neuronas individuales, el Proyecto Cerebro Humano utilizará transistores para imitar su comportamiento, de modo que habrá módulos informáticos que podrán actuar como la neocorteza, el tálamo y otras partes del cerebro.

Al final, la rivalidad entre estos dos gigantescos proyectos podría dar resultados inesperados, generando nuevos descubrimientos para tratar enfermedades incurables y dar origen a nuevas industrias. Pero también existe otro objetivo no declarado. Si llegamos a simular un cerebro humano, ¿significa eso que se haría inmortal? ¿Implica que podría existir conciencia fuera del cuerpo? Estos ambiciosos proyectos plantean algunas de las cuestiones teológicas y metafísicas más espinosas.

CONSTRUIR UN CEREBRO

Como a muchos otros niños, a mí me gustaba desmontar relojes. Solía coger aquellos que ya no servían y los desmontaba tornillo a tornillo, y después intentaba ver cómo encajaba todo. Seguía mentalmente cada parte, mirando cómo se conectaba un engranaje con otro, hasta que todo encajaba. Me di cuenta de que la cuerda principal podía hacer girar la rueda principal, que a su vez movía una serie de engranajes más pequeños, los cuales al final movían las manecillas del reloj.

En la actualidad, a una escala mucho mayor, los informáticos y neurólogos están intentando desmontar un objeto infinitamente más complicado, el más sofisticado que conocemos en el universo: el cerebro humano. Además, pretenden volver a montarlo, neurona a neurona.

Gracias a los rápidos avances de la automatización, la robótica, la nanotecnología y la neurociencia, la ingeniería inversa del cerebro ya no es una especulación ociosa para charlas eruditas de sobremesa. En Estados Unidos y Europa se van a invertir miles de millones de dólares en proyectos que antes se consideraban disparatados. Actualmente, un pequeño grupo de científicos visionarios está dedicando sus vidas profesionales a un proyecto que pueden no llegar a ver completado. Mañana sus filas podrían crecer hasta convertirse en todo un ejército, generosamente financiado por Estados Unidos y las naciones europeas.

Si tienen éxito, estos científicos podrían alterar el curso de la historia humana. No solo podrían encontrar nuevas curas y terapias para las enfermedades mentales, también podrían revelar los secretos de la conciencia y tal vez descargarla en un ordenador.

Es una tarea intimidante. El cerebro humano consta de más de cien mil millones de neuronas, aproximadamente tantas como estrellas hay en la Vía Láctea. Cada neurona, a su vez, está conectada a otras diez mil, de manera que en total existen unos diez mil billones de conexiones posibles (y no hemos empezado a contar las rutas que existen en esta espesura de neuronas). El número de «pensamientos» que un cerebro humano puede concebir es verdaderamente astronómico, fuera del alcance de nuestra comprensión.

Pero esto no ha impedido que un pequeño grupo de entusiastas y dedicados científicos intente reconstruir el cerebro partiendo de cero. Un antiguo proverbio chino dice que «un viaje de mil kilómetros comienza por un paso». En realidad, ese primer paso se dio cuando los científicos descodificaron, neurona a neurona, el sistema nervioso de un gusano nematodo. Esta pequeña criatura, llamada *Caenorhabditis elegans*, tiene trescientas dos neuronas y siete mil sinapsis, todas las cuales se han registrado con exactitud. Se puede encontrar en internet un plano completo de su sistema nervioso. (Por el momento es el único organismo vivo cuya estructura nerviosa se ha descodificado de esta manera.)

Al principio se creía que la ingeniería inversa completa de este sencillo organismo abriría la puerta al cerebro humano. Paradójicamente, ha ocurrido lo contrario. Aunque las neuronas del nematodo tenían un número limitado, la red era tan compleja y sofisticada que se ha tardado años en

comprender incluso datos muy simples sobre el comportamiento del gusano, como qué rutas son responsables de qué conductas. Si hasta un humilde nematodo puede escapar de nuestra comprensión científica, hay que imaginar lo complejo que debe de ser un cerebro humano.

TRES MANERAS DE ABORDAR EL CEREBRO

Siendo el cerebro tan complejo, existen por lo menos tres maneras diferentes de desmontarlo neurona a neurona. La primera es simular electrónicamente el cerebro con superordenadores, que es el enfoque adoptado por los europeos. La segunda es elaborar un mapa de las rutas nerviosas de los cerebros vivos, como hace BRAIN. (Esta, a su vez, se puede subdividir más, dependiendo de cómo se analicen estas neuronas: anatómicamente, neurona a neurona, o según su función y actividad.) Y la tercera consistiría en descifrar los genes que controlan el desarrollo del cerebro, que es el enfoque elegido por el multimillonario Paul Allen, de Microsoft.

La primera vía, que simula el cerebro mediante transistores y ordenadores, está avanzando poco a poco mediante la ingeniería inversa de cerebros de animales en cierta secuencia: primero un ratón; después una rata, un conejo y un gato. Los europeos están siguiendo más o menos el camino de la evolución, empezando por cerebros simples y progresando hacia arriba. Para un científico informático, la solución está en la potencia pura del ordenador: cuanto más, mejor. Y esto significa utilizar algunos de los mayores ordenadores del mundo para descifrar el cerebro de ratones y hombres.

El primer objetivo es el cerebro de un ratón, que tiene una milésima del tamaño de un cerebro humano, con unos cien millones de neuronas. El proceso de pensamiento del cerebro de un ratón lo está analizando el ordenador Blue Gene de IBM, instalado en el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, en California, donde se encuentran algunos de los ordenadores más grandes del mundo y se diseñan las cabezas nucleares de hidrógeno para el Pentágono. Este colosal conjunto de transistores, chips y cables contiene 147.456 procesadores con la increíble cantidad de 150.000 gigabytes de memoria (un ordenador típico suele tener un procesador y unos pocos gigabytes de memoria).

El progreso ha sido lento pero constante. En lugar de construir un modelo de todo el cerebro, los científicos intentan duplicar solo las conexiones entre la corteza y el tálamo, donde se concentra gran parte de la actividad cerebral. (Esto significa que en esta simulación faltan las conexiones sensoriales con el mundo exterior).

En 2006, el doctor Dharmendra Modha, de IBM, simuló de este modo parte del cerebro del ratón con 512 procesadores. En 2007, su grupo simuló el cerebro del ratón con 2.048 procesadores. En 2009 se simuló el cerebro de un gato, que tiene 1.600 millones de neuronas y nueve billones de

conexiones, con 24.576 procesadores.

En la actualidad, usando toda la potencia del ordenador Blue Gene, los científicos de IBM han simulado el 4,5 por ciento de las neuronas y sinapsis del cerebro humano. Para empezar una simulación parcial del cerebro humano se necesitarían ochocientos ochenta mil procesadores, lo que podría ser posible hacia 2020.

Tuve ocasión de filmar el ordenador Blue Gene. Para llegar al laboratorio tuve que cruzar estrictos controles de seguridad, ya que este es el principal laboratorio de armamento del país; una vez que hube pasado todos los puntos de control, entré en un enorme recinto con aire acondicionado que aloja al Blue Gene.

El ordenador es una máquina verdaderamente magnífica. Consiste en hileras y más hileras de grandes cajas negras llenas de interruptores y luces parpadeantes, cada una de aproximadamente 2,40 metros de altura y unos 4,5 metros de longitud. Mientras caminaba entre las cajas que forman el Blue Gene, me pregunté qué clase de operaciones estaría realizando. Lo más probable es que estuviera haciendo un modelo del interior de un protón, calculando la degradación de los disparadores de plutonio, simulando la colisión de dos agujeros negros y pensando en un ratón, todo a la vez.

Entonces me dijeron que incluso este superordenador está siendo la siguiente generación, el Blue Gene/Q Sequoia, que llevará la informática a un nuevo nivel. En junio de 2012 batió el récord mundial de velocidad de un superordenador. En su pico máximo, puede realizar operaciones a razón de 20,1 billones por segundo. Ocupa una área aproximada de doscientos ochenta metros cuadrados y consume energía eléctrica del orden de los 7,9 megavatios, suficiente para iluminar una ciudad pequeña.

Pero toda esta enorme potencia de computación concentrada en un solo ordenador, ¿es suficiente para competir con el cerebro humano?

Ni mucho menos.

Las simulaciones de estor ordenadores solo intentan reproducir las interacciones entre la corteza y el tálamo. Por lo tanto, faltan grandes porciones del cerebro. El doctor Modha es consciente de la enormidad de su proyecto. Su ambiciosa investigación le ha permitido calcular lo que se necesitaría para crear un modelo funcional del cerebro humano, y no solo una parte o una versión reducida, incluyendo todas las áreas de la neocorteza y las conexiones con los órganos de los sentidos. Según él, no bastaría con un solo ordenador Blue Gene, sino que harían falta miles, que no llenarían una habitación sino toda una manzana de una ciudad. El consumo de energía sería tan grande que se necesitaría una central nuclear de mil megavatios para generar toda la electricidad. Y después, para enfriar este monstruoso ordenador y evitar que se derritiera, sería preciso desviar un río y hacerlo pasar por los circuitos del ordenador.

Llama la atención que se necesite un ordenador gigantesco, del tamaño de una manzana urbana, para simular una pieza de tejido humano que pesa menos de un kilo y medio, cabe dentro del cráneo,

solo eleva la temperatura corporal unos pocos grados, consume veinte vatios de potencia y únicamente necesita unos bocadillos para seguir funcionando.

CONSTRUIR UN CEREBRO

Probablemente el científico más ambicioso que se ha unido a esta campaña sea el doctor Henry Markram, de la École Polytechnique Fédérale de Lausana (Suiza). Él es la fuerza impulsora del Proyecto Cerebro Humano, que ha recibido fondos multimillonarios de la Comisión Europea. El doctor Markram ha pasado los últimos diecisiete años de su vida intentando descifrar el cableado neuronal del cerebro. También él está utilizando el ordenador Blue Gene para construir un cerebro mediante ingeniería inversa. Por el momento, su Proyecto Cerebro Humano ha gastado ciento cuarenta millones de dólares de la Comisión Europea, que es solo una fracción de la potencia informática que necesitará en la próxima década.

El doctor Markram cree que esto ya no es un proyecto científico, sino una obra de ingeniería que necesitará enormes sumas de dinero. «Para construir todo esto —dice—, los superordenadores, el software, la investigación… necesitaremos aproximadamente mil millones de dólares. Esto no es caro si se considera que la carga global de las enfermedades mentales se llevará muy pronto más del 20 por ciento de los presupuestos nacionales del mundo.» Para él, mil millones de dólares no son nada, solo una menudencia en comparación con los cientos de miles de millones en facturas derivadas del alzhéimer, el párkinson, etcétera, cuando la generación del *baby boom* se jubile.

Así pues, para el doctor Markram la solución es cuestión de cantidad. Aportemos suficiente dinero en el proyecto y obtendremos un cerebro humano. Ahora que ha conseguido el codiciado premio de mil millones de dólares de la Comisión Europea, su sueño puede hacerse realidad.

Tiene una respuesta preparada para cuando se le pregunta qué obtendrá el contribuyente medio de esta inversión milmillonaria. Hay tres razones, dice, para embarcarse en esta búsqueda solitaria y carísima. En primer lugar, «es imprescindible que comprendamos el cerebro humano si queremos desenvolvernos en la sociedad, y creo que es un paso clave en la evolución. La segunda razón es que no podemos seguir experimentando con animales eternamente. Es como un Arca de Noé, como un archivo. Y el tercer motivo es que hay en este planeta dos mil millones de personas afectadas por trastornos mentales».[2]

Para él es un escándalo que se sepa tan poco de las enfermedades mentales, que ocasionan tantos sufrimientos a millones de personas. «En la actualidad —dice— no hay una sola enfermedad neurológica de la que alguien sepa qué está funcionando mal en el circuito: qué ruta, qué sinapsis, qué neurona, qué receptor. Es escandaloso.»[3]

A primera vista puede parecer imposible completar este proyecto, con tantas neuronas y

conexiones. Parece una empresa de locos. Pero estos científicos creen tener un as en la manga.

El genoma humano consta de unos veintitrés mil genes, y aun así es capaz de crear el cerebro, que consta de cien mil millones de neuronas. Parece una imposibilidad matemática crear un cerebro humano a partir de nuestros genes, pero ocurre cada vez que nace un niño. ¿Cómo se puede almacenar tanta información en algo tan pequeño?

El doctor Markram cree que la respuesta está en que la naturaleza utiliza atajos. La clave de su enfoque es que ciertos módulos de neuronas se repiten una y otra vez hasta que la Madre Naturaleza encuentra un buen modelo. Si observamos cortes del cerebro en el microscopio, al principio no vemos nada más que una maraña caótica de neuronas. Pero observando con más atención se ven patrones de módulos que se repiten una y otra vez.

(En realidad, los módulos explican que sea posible construir grandes rascacielos con tanta rapidez. Una vez que se diseña uno, se puede repetir el diseño hasta el infinito en una cadena de montaje. Después se pueden apilar rápidamente uno encima de otro para construir el rascacielos. En cuanto se ha firmado todo el papeleo, se puede montar un edificio de apartamentos a base de módulos en unos pocos meses.)

La clave del proyecto Blue Brain del doctor Markram es la «columna neocortical», un módulo con un diseño que se repite una y otra vez en nuestro cerebro. En los humanos, cada columna mide unos dos milímetros de altura, con un diámetro de medio milímetro, y contiene sesenta mil neuronas. (A modo de comparación, los módulos neurales de las ratas solo contienen diez mil neuronas cada uno.) El doctor Markram tardó diez años, de 1995 a 2005, en finalizar el mapa de las neuronas de una de estas columnas y deducir cómo funcionaba. Una vez descifrado esto, recurrió a IBM para crear numerosas repeticiones de estas columnas.

Es el eterno optimista. En 2009, en una conferencia TED, aseguró que podría terminar el proyecto en diez años. (Lo más probable es que el resultado sea un cerebro humano minimizado, sin ninguna conexión con los otros lóbulos ni con los órganos de los sentidos.) Afirmó que «si lo construimos correctamente, debería hablar, tener inteligencia y comportarse más o menos como un ser humano».

El doctor Markram es un hábil defensor de su trabajo. Tiene respuesta para todo. Cuando los críticos dicen que se está metiendo en territorio prohibido, él replica: «Como científicos, no debemos tener miedo a la verdad. Necesitamos comprender nuestro cerebro. Es natural que la gente piense que es sagrado, que no deberíamos juguetear con él porque puede que en él se encuentren los secretos del alma. Pero yo pienso, y soy muy sincero, que si el mundo comprendiera cómo funciona el cerebro, se resolverían conflictos en todas partes. Porque la gente comprendería lo triviales, lo deterministas y lo controlados que son los conflictos, las reacciones y los malentendidos».

Enfrentado a la crítica definitiva, la de que está «jugando a ser Dios», él responde: «Creo que estamos muy lejos de hacer esto. Dios creó el universo entero. Nosotros solo estamos intentando construir una pequeña maqueta».[4]

¿ES UN CEREBRO DE VERDAD?

Aunque estos científicos aseguran que su simulación informática del cerebro empezará a alcanzar la capacidad del cerebro humano hacia 2020, la principal pregunta es cuán realista será esa simulación. ¿Puede la simulación de un gato, por ejemplo, cazar un ratón o jugar con un ovillo de lana?

La respuesta es no. Estas simulaciones informáticas intentan igualar la capacidad de las neuronas que se activan en el cerebro de un gato, pero no pueden reproducir la manera en que están conectadas las regiones del cerebro. La simulación de IBM se limita al sistema talamocortical (es decir, el canal que conecta el tálamo con la corteza). El sistema no tiene un cuerpo físico y, por lo tanto, faltan todas las complejas interacciones entre el cerebro y el entorno. Este cerebro de gato no tiene lóbulo parietal, en consecuencia, carece de conexiones sensoriales o motoras con el mundo exterior. E incluso dentro del sistema talamocortical, el cableado básico no respeta el proceso de pensamiento de un gato. No hay bucles de retroalimentación ni circuitos de memoria para acechar a las presas o encontrar pareja. El cerebro informático de gato es una hoja en blanco, desprovista de recuerdos y de impulsos instintivos. En otras palabras, no puede cazar un ratón.

Así pues, aunque sea posible simular un cerebro humano allá por 2020, no podremos mantener una conversación sencilla con él. Sin lóbulo parietal, sería como una hoja en blanco sin sensaciones, privado de todo conocimiento de sí mismo, de la gente y del mundo que lo rodea. Sin lóbulo temporal, no podrá hablar. Sin sistema límbico, no podrá tener emociones. De hecho, tendrá menos potencia cerebral que un recién nacido.

La difícil tarea de conectar el cerebro al mundo de las sensaciones, las emociones, el idioma y la cultura está solo empezando.

EL MÉTODO DE CORTAR Y DESMENUZAR

El siguiente enfoque, apoyado por el gobierno de Obama, consiste en desarrollar directamente un mapa de las neuronas del cerebro. En lugar de utilizar transistores, este método analiza las verdaderas rutas neuronales del cerebro. Esto se puede llevar a cabo de varias maneras.

Un procedimiento consistiría en identificar físicamente todas y cada una de las neuronas y sinapsis del cerebro. (Normalmente, las neuronas quedan destruidas en este proceso.) Esto es lo que se llama «enfoque anatómico». Otra manera sería descifrar las rutas de flujo de señales eléctricas de unas neuronas a otras cuando se ejecutan determinadas funciones. (Este último método, que hace hincapié en identificar las rutas del cerebro vivo, es el que parece el favorito del gobierno Obama.)

El enfoque anatómico implica desmontar las células de un cerebro animal, neurona a neurona, utilizando el método de «cortar y desmenuzar». De esta manera, el modelo ya tendría codificada toda la complejidad del entorno, el cuerpo y los recuerdos. En lugar de crear una aproximación del cerebro humano montando una enorme cantidad de transistores, se pretende identificar cada neurona del cerebro. Después tal vez se podría simularla con un conjunto de transistores para obtener una réplica exacta del cerebro humano con memoria, personalidad y conexión con los órganos de los sentidos. Cuando la ingeniería inversa consiga reproducir así un cerebro completo, podríamos mantener una conversación con él, incluyendo sus recuerdos y su personalidad.

No se necesita nueva física para llevar a cabo el proyecto. Utilizando un aparato similar al cortador de lonchas de una charcutería, el doctor Gerry Rubin, del Instituto Médico Howard Hughes, ha estado rebanando el cerebro de una mosca de la fruta. No es una tarea fácil, ya que este solo mide trescientas micras de diámetro, una minúscula mota en comparación con el cerebro humano. El cerebro de una mosca de la fruta contiene aproximadamente ciento cincuenta mil neuronas. Cada rebanada, con un grosor de cincuenta milmillonésimas de metro, se fotografía meticulosamente con un microscopio electrónico y se introduce la imagen en un ordenador. Después, un programa intenta reconstruir el cableado, neurona a neurona. Al ritmo al que va, el doctor Rubin tendrá identificadas todas las neuronas del cerebro de la mosca de la fruta dentro de veinte años.

Esta velocidad de caracol se debe en parte a la actual tecnología fotográfica, ya que un microscopio electrónico de barrido funciona aproximadamente a diez millones de píxeles por segundo. (Esto es casi un tercio de la resolución que consigue una pantalla de televisión corriente por segundo.) El objetivo es tener un aparato de producción de imágenes capaz de procesar diez mil millones de píxeles por segundo, lo que sería un récord mundial.

El almacenamiento de los datos obtenidos del microscopio también es impresionante. El disco duro más grande que hay en el mercado contiene aproximadamente un billón de bytes (mil gigabytes) de información. Cuando su proyecto avance más, Rubin espera escanear aproximadamente un millón de gigabytes de datos al día, con una sola mosca de la fruta, y se ve llenando enormes almacenes de discos duros. Además, como cada cerebro de mosca de la fruta es ligeramente diferente, tendrá que escanear cientos de cerebros para lograr una aproximación precisa.

Basándonos en los trabajos con la mosca de la fruta, ¿cuánto se tardará en desmenuzar el cerebro humano? «Dentro de cien años, me gustaría saber cómo funciona la conciencia humana. El objetivo a diez o veinte años es comprender el cerebro de la mosca de la fruta», dice.[5]

Este método se puede acelerar con varios avances técnicos. Una posibilidad es utilizar un aparato automatizado, para que el tedioso proceso de cortar en rodajas el cerebro y analizar cada imagen lo haga una máquina. Esto podría reducir la duración del proceso. La automatización, por ejemplo, redujo considerablemente el coste del Proyecto Genoma Humano (aunque se habían presupuestado tres mil millones de dólares, se completó antes de tiempo y por debajo de lo previsto, algo insólito

en Washington). Otro método consistiría en utilizar una gran variedad de colorantes para marcar diferentes neuronas y rutas y volverlas más visibles. Un enfoque alternativo sería crear un supermicroscopio automatizado capaz de escanear neuronas una a una con un detalle sin precedentes.

Dado que trazar un mapa completo del cerebro y todos sus sentidos puede llevar unos cien años, estos científicos se sienten como los arquitectos medievales que diseñaron las catedrales de Europa, conscientes de que el proyecto tendrían que terminarlo sus nietos.

Además de construir un mapa anatómico del cerebro neurona a neurona, existe un proyecto paralelo llamado «Proyecto Conectoma Humano», que utiliza las imágenes de barrido del cerebro para reconstruir las rutas que conectan las distintas regiones del cerebro.

PROYECTO CONECTOMA HUMANO

En 2010, los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) anunciaron que habían asignado treinta millones de dólares, repartidos en cinco años, a un consorcio de universidades (la de Washington en San Louis y la de Minnesota) y una subvención de 8,5 millones en tres años a un consorcio encabezado por la Universidad de Harvard, el Hospital General de Massachusetts y la Universidad de California. Por supuesto, con este nivel de financiación a corto plazo no se puede secuenciar todo el cerebro, pero la intención era darle un empujón de salida al proyecto.

Lo más probable es que este proyecto acabe fundiéndose con BRAIN, lo que acelerará muchísimo el trabajo. El objetivo es producir un mapa neuronal de las rutas del cerebro humano, que aclare trastornos cerebrales como el autismo y la esquizofrenia. Uno de los directores del Proyecto Conectoma, el doctor Sebastian Seung, señala que «los investigadores han conjeturado que las neuronas mismas están sanas, pero que tal vez estén conectadas de un modo anormal. Pero hasta ahora nunca habíamos dispuesto de la tecnología apropiada para poner a prueba esta hipótesis».[6] Si estas enfermedades están efectivamente causadas por un cableado defectuoso del cerebro, el Proyecto Conectoma Humano puede proporcionarnos una valiosísima pista sobre cómo tratar este segundo tipo de enfermedades.

Cuando se habla del objetivo último de simular todo el cerebro humano, el doctor Seung a veces desespera de ver terminado el proyecto. «En el siglo XVII —dice—, el matemático y filósofo Blaise Pascal escribió sobre su miedo al infinito, su sensación de insignificancia al contemplar las vastas extensiones del espacio. Y yo, como científico, no debería hablar de mis sentimientos… Siento curiosidad y me siento maravillado, pero a veces también siento desesperación.»[7] Pero él y otros como él persisten, aunque su proyecto necesite varias generaciones para terminarlo. Tienen motivos de esperanza, porque algún día los microscopios automatizados sacarán fotografías de manera incansable y otras máquinas con inteligencia artificial las analizarán veinticuatro horas al día. Pero

ahora mismo, crear una imagen del cerebro humano con microscopios electrónicos convencionales consumiría un zettabyte de datos, el equivalente a todo lo recopilado en la web alrededor del mundo.

El doctor Seung invita al público a participar en este gran proyecto visitando una página web llamada EyeWire. Allí, el «científico aficionado» puede ver un montón de rutas neuronales y se le pide que las coloree (definiendo sus fronteras). Es como un libro virtual para colorear, solo que las imágenes son de neuronas verdaderas en la retina del ojo, capturadas por un microscopio electrónico.

ATLAS ALLEN DEL CEREBRO

Por último, hay una tercera manera de trazar un mapa del cerebro. En lugar de analizarlo por medio de simulaciones informáticas o de identificar todas las rutas nerviosas, se ha intentado otro método con una generosa subvención de cien millones de dólares donados por el multimillonario Paul Allen, de Microsoft. El objetivo era elaborar un mapa o atlas del cerebro de un ratón, haciendo hincapié en la identificación de los genes responsables de su formación.

Se espera que este conocimiento de la manifestación de los genes en el cerebro pueda ayudar a comprender el autismo, el párkinson, el alzhéimer y otros trastornos. Dado que muchos de los genes del ratón existen también en los seres humanos, es posible que sus descubrimientos nos informen también sobre el cerebro humano.

Con esta infusión de fondos, el proyecto se completó en 2006 y sus resultados están disponibles libremente en la web. Poco después se anunció un nuevo proyecto, el Atlas Allen del Cerebro Humano, con la esperanza de crear un mapa tridimensional del cerebro humano, anatómica y genéticamente completo. En 2011 se comunicó que habían trazado mapas bioquímicos de dos cerebros humanos, con mil sitios anatómicos con cien millones de datos que detallan la manifestación de los genes en los procesos bioquímicos subyacentes. El estudio confirmó que el 82 por ciento de los genes se manifiestan en el cerebro.

«Hasta ahora no había existido un mapa definitivo del cerebro humano con este nivel de detalle —dice el doctor Allen Jones, del Instituto Allen—. El Atlas Allen del Cerebro Humano aporta información nunca vista sobre nuestro órgano más complejo y más importante.»[8]

OBJECIONES A LA INGENIERÍA INVERSA

Los científicos que han dedicado su vida a la ingeniería inversa del cerebro son conscientes de que tienen por delante décadas de trabajo duro. Pero también están convencidos de las implicaciones

prácticas de su trabajo. Sienten que incluso unos resultados parciales ayudarían a descifrar el misterio de enfermedades mentales muy antiguas.

En cambio, los escépticos pueden argumentar que, cuando se haya concluido esta ardua tarea, tendremos una montaña de datos pero seguiremos sin comprender cómo encajan todos juntos. Por ejemplo, imaginemos que un neanderthal encuentra todos los planos de un ordenador Blue Gene de IBM, en los cuales están todos los detalles, hasta el último transistor. El plano es enorme, ocupa miles de metros cuadrados de papel. Es posible que el neanderthal sea vagamente consciente de que en ese plano está el secreto de una máquina superpotente, pero la pura masa de datos técnicos no significa nada para él.

De manera similar, muchos temen que, después de gastar miles de millones desentrañando la posición de cada neurona del cerebro, no seamos capaces de comprender lo que significa todo eso. Pueden necesitarse muchas décadas más de duro trabajo para ver cómo funciona todo el conjunto.

Por ejemplo, el Proyecto Genoma Humano fue un éxito rotundo en el sentido de secuenciar todos los genes que componen el genoma humano. Pero fue también una enorme decepción para los que esperaban curas inmediatas para las enfermedades genéticas. El Proyecto Genoma Humano era como un gigantesco diccionario, con veintitrés mil entradas pero sin definiciones. Todas las páginas están en blanco, pero la ortografía de cada gen es perfecta. El proyecto supuso un tremendo avance, pero no es más que el primer paso de un largo viaje hacia el conocimiento de lo que estos genes hacen y cómo interactúan.

De manera similar, el hecho de disponer de un mapa completo de todas las conexiones neuronales del cerebro no garantiza que sepamos qué están haciendo esas neuronas y cómo reaccionan. La ingeniería inversa es la parte fácil; después de ella empieza la difícil: encontrarles sentido a todos esos datos.

EL FUTURO

Por ahora supongamos que por fin ha llegado el momento. A bombo y platillo, los científicos anuncian solemnemente que han conseguido reconstruir por ingeniería inversa todo el cerebro humano.

Y entonces, ¿qué?

Una aplicación inmediata sería buscar los orígenes de ciertas enfermedades mentales. Se cree que muchas de ellas no están causadas por la destrucción masiva de neuronas, sino por un simple fallo de conexión. Pensemos en las dolencias genéticas causadas por una sola mutación, como la enfermedad de Huntington, la de Tay-Sachs o la fibrosis quística. Entre tres mil millones de pares de bases, un solo par equivocado (o una repetición) puede causar movimientos incontrolables de los miembros y

convulsiones, como en la enfermedad de Huntington. Aunque el genoma sea correcto en un 99,9999999 por ciento, un minúsculo fallo podría invalidar toda la secuencia. Por eso la terapia génica se ha centrado en estas mutaciones de un solo gen, como posibles enfermedades genéticas que se pueden corregir.

De manera similar, una vez completada la ingeniería inversa del cerebro, sería posible utilizar simulaciones del cerebro y alterar deliberadamente unas cuantas conexiones para ver si se pueden inducir ciertos trastornos. Es posible que unas pocas neuronas sean responsables de grandes alteraciones de nuestra cognición. Localizar este pequeño conjunto de neuronas que funcionan mal podría ser una de las tareas del cerebro construido por ingeniería inversa.

Un ejemplo podría ser el síndrome de Capgras, en el que ves a alguien que reconoces como tu madre, pero crees que esa persona es una impostora. Según el doctor V. S. Ramachandran, este raro trastorno podría deberse a un fallo de conexión entre dos partes del cerebro.[9] El giro fusiforme del lóbulo temporal es responsable de que podamos reconocer la cara de nuestra madre, pero la amígdala es la responsable de nuestra reacción emocional al verla. Cuando falla la conexión entre estos dos centros, un individuo puede reconocer perfectamente bien el rostro de su madre pero, al no haber respuesta emocional, también está convencido de que se trata de una impostora.

Otra aplicación de la ingeniería inversa del cerebro sería identificar con exactitud qué grupo de neuronas se está activando mal. Recordemos que en la estimulación cerebral profunda se utilizan diminutas sondas para reducir la actividad de una pequeñísima área del cerebro, como el área 25 de Broadmann en el caso de algunas formas graves de depresión. Utilizando el mapa de ingeniería inversa, sería posible averiguar con exactitud dónde hay un fallo de activación de las neuronas, que podría afectar solo a un puñado de ellas.

Un cerebro construido por ingeniería inversa sería también de gran ayuda para la inteligencia artificial. La visión y el reconocimiento de rostros son actividades que el cerebro realiza sin ningún esfuerzo, pero que siguen fuera del alcance de nuestros ordenadores más avanzados. Por ejemplo, los ordenadores pueden reconocer con un 95 por ciento de precisión, o más, rostros humanos que les miren de frente y que estén incluidos en una pequeña base de datos, pero si les enseñas el mismo rostro visto desde otro ángulo, u otro que no esté en el banco de datos, lo más probable es que el ordenador fracase. Nosotros podemos reconocer rostros familiares, vistos en diferentes ángulos, en una décima de segundo. Para nuestro cerebro es tan fácil que ni siquiera somos conscientes de que lo estamos haciendo. La ingeniería inversa del cerebro puede revelar el misterio de cómo se hace.

Más complicado sería el caso de enfermedades que implican múltiples fallos en el cerebro, como la esquizofrenia. En este trastorno intervienen varios genes, más las interacciones con el entorno, que a su vez ocasionan una actividad fuera de lo normal en varias áreas del cerebro. Pero incluso en este caso, un cerebro construido por ingeniería inversa podría decir con exactitud cómo se originan ciertos síntomas (como las alucinaciones), lo cual podría abrir el camino a una posible cura.

Un cerebro construido por ingeniería inversa resolvería también cuestiones básicas aún sin solución, como la del almacenamiento de la memoria a largo plazo. Se sabe que ciertas partes del cerebro, como el hipocampo y la amígdala, almacenan recuerdos, pero todavía no está claro cómo se dispersa la memoria entre las diversas cortezas y después se vuelve a montar para crear un recuerdo.

Una vez que el cerebro de ingeniería inversa sea plenamente funcional, habrá llegado el momento de activar todos sus circuitos para ver si puede responder como un cerebro humano (es decir, para ver si puede pasar la prueba de Turing). Dado que la memoria a largo plazo estará codificada en las neuronas de este cerebro, debería resultar obvio en muy poco tiempo si el cerebro puede responder de un modo indistinguible del humano.

Por último, hay un impacto de la ingeniería inversa del cerebro del que rara vez se habla, pero que está en la mente de muchos: la inmortalidad. Si se pueden transferir las conciencias a un ordenador, ¿eso significa que no podremos vivir por siempre?

12

El futuro: la mente más allá de la materia

> La especulación nunca es una pérdida de tiempo: despeja la leña muerta en la maleza de la deducción.
>
> ELIZABETH PETERS

> Somos una civilización científica… Lo cual significa una civilización en la que el conocimiento y su integridad son fundamentales. «Ciencia» no es más que una palabra latina que significa conocimiento… El conocimiento es nuestro destino.
>
> JACOB BRONOWSKI

¿Puede la conciencia existir por sí misma, libre de las restricciones del cuerpo físico? ¿Podemos abandonar nuestro cuerpo mortal y vagar como espíritus por este campo de juegos que llamamos universo? Esto se especuló en *Star Trek*, cuando el capitán Kirk, de la nave *Enterprise*, encuentra una raza sobrehumana, casi un millón de años más avanzada que la Federación de Planetas. Tan avanzados son, que hace mucho tiempo que abandonaron sus frágiles cuerpos mortales y ahora habitan glóbulos pulsátiles de energía pura. Han pasado milenios desde que podían experimentar sensaciones embriagadoras, como respirar, tocar la mano de otra persona o sentir amor físico. Su líder, Sargon, invita al *Enterprise* a visitar su planeta. El capitán Kirk acepta la invitación, plenamente consciente de que esta civilización podría vaporizar el *Enterprise* en un instante si quisiera.

Pero sin que lo sepa la tripulación, estos superseres tienen una debilidad fatal. A pesar de su avanzada tecnología, han estado privados de sus cuerpos físicos durante cientos de miles de años. Y están deseando sentir la excitación de las sensaciones físicas y volver a ser humanos.

De hecho, uno de ellos es malvado y está decidido a tomar posesión de los cuerpos físicos de la tripulación. Quiere vivir como un ser humano, aunque eso signifique destruir la mente del propietario del cuerpo. Pronto estalla una batalla en la cubierta del *Enterprise*: la entidad maligna

toma control del cuerpo de Spock y la tripulación se resiste.

Los científicos se han preguntado si existe una ley física que impida que la mente exista sin un cuerpo. En particular, si la mente consciente humana es un aparato que crea constantemente modelos del mundo y los simula en el futuro, ¿sería posible crear una máquina capaz de simular todo este proceso?

Ya hemos mencionado la posibilidad de introducir nuestros cuerpos en cápsulas, como en la película *Los sustitutos*, mientras controlamos mentalmente un robot. El problema es que nuestro cuerpo natural se irá marchitando poco a poco, aunque nuestro robot sustituto siga funcionando. Algunos científicos se han planteado en serio si podremos transferir nuestras mentes a un robot para convertirnos en inmortales. ¿Quién no querría una oportunidad de vivir eternamente? Como dijo Woody Allen: «No quiero vivir para siempre a través de mis obras. Quiero vivir para siempre a base de no morirme».

Lo cierto es que hay millones de personas que afirman que es posible que la mente abandone el cuerpo. De hecho, muchas insisten en que lo han hecho ellas mismas.

EXPERIENCIAS EXTRACORPÓREAS

La idea de una mente sin cuerpo es, tal vez, la más antigua de nuestras supersticiones, incrustada en lo más profundo de nuestros mitos, folclore, sueños e incluso tal vez en nuestros genes. Parece que en todas las sociedades hay algún relato de fantasmas o demonios que pueden entrar y salir del cuerpo a voluntad.

Por desgracia, muchos inocentes fueron perseguidos para exorcizar a los demonios que supuestamente poseían sus cuerpos. Lo más probable es que padecieran enfermedades mentales como la esquizofrenia, cuyas víctimas suelen vivir atormentadas por voces generadas por sus propias mentes. Los historiadores creen probable que una de las brujas de Salem que fueron ahorcadas en 1692 por estar poseídas padeciera en realidad un raro trastorno genético, la enfermedad de Huntington, que ocasiona movimientos descontrolados de los miembros.

En la actualidad hay personas que aseguran que han entrado en un estado de trance en el que su conciencia ha abandonado su cuerpo, quedando libre para vagar por el espacio, capaz incluso de contemplar desde fuera su cuerpo mortal. En una encuesta realizada a trece mil europeos, el 5,8 por ciento aseguraba haber tenido una experiencia extracorpórea.[1] Las entrevistas realizadas en Estados Unidos presentan cifras similares.

El Premio Nobel Richard Feynman, siempre curioso ante los fenómenos nuevos, se metió una vez en un tanque de privación sensorial e intentó abandonar su cuerpo físico. Lo consiguió. Después escribió que sintió que salía de su cuerpo, flotaba por el espacio y al mirar atrás veía su cuerpo

inmóvil. Sin embargo, Feynman concluía: «No he visto que se infrinja ninguna ley de la física» (es decir, es muy probable que fuera solo su imaginación, estimulada por la privación sensorial).

Los neurólogos que han estudiado este fenómeno tienen una explicación más prosaica. En Suiza, el doctor Olaf Blanke y sus colaboradores creen haber localizado la zona precisa del cerebro que genera las experiencias extracorpóreas. Una de sus pacientes era una mujer de cuarenta y tres años que padecía accesos debilitantes originados en el lóbulo temporal derecho. Se le implantó en el cerebro una rejilla de unos cien electrodos para localizar la región responsable de sus accesos. Cuando los electrodos estimularon la zona situada entre los lóbulos parietal y temporal, la paciente tuvo inmediatamente la sensación de que salía de su cuerpo. «¡Me veo tumbada en la cama, desde arriba, pero solo me veo las piernas y la parte inferior del tronco!», exclamó.[2] Sentía que estaba flotando dos metros por encima de su cuerpo.

Pero cuando se apagaron los electrodos, la sensación extracorpórea desapareció al instante. De hecho, el doctor Blanke descubrió que podía activar y desactivar la sensación, como si encendiera y apagara la luz con un interruptor, estimulando repetidamente esta zona del cerebro. Como vimos en el capítulo 9, el trastorno epiléptico del lóbulo temporal puede inducir la sensación de que hay espíritus malignos detrás de cada desgracia, así que el concepto de espíritus que salen del cuerpo podría formar parte de nuestra constitución nerviosa. (Esto podría explicar también la presencia de seres sobrenaturales. Cuando el doctor Blanke analizó a una mujer de veintidós años que padecía ataques incontrolables, descubrió que estimulando la región temporal-parietal del cerebro se le podía inducir la sensación de que había detrás de ella una presencia sombría. La paciente podía describir con detalle a aquella persona, que incluso la agarraba de los brazos. Su posición cambiaba en cada aparición, pero siempre lo hacía detrás de ella.)

Yo creo que la conciencia humana es el proceso de formar continuamente un modelo del mundo, con el fin de simular el futuro y lograr un objetivo. En particular, nuestro cerebro está recibiendo estímulos de los ojos y el oído interno para crear un modelo de nuestra posición en el espacio. Pero cuando las señales de los ojos y el oído se contradicen, quedamos confusos acerca de nuestra posición. Muchas veces tenemos náuseas y vomitamos. Por ejemplo, muchas personas se marean cuando están en una embarcación que se balancea, porque sus ojos, al mirar las paredes del camarote, les dicen que están quietos, pero su oído interno les dice que se están balanceando. La discrepancia entre estas señales hace que sientan náuseas. El remedio es mirar afuera, para que la imagen visual coincida con las señales del oído interno. (Esta misma sensación de náusea se puede inducir incluso estando inmóvil. Si hacemos girar un cubo de basura pintado con rayas verticales mientras lo miramos, las rayas parecen moverse horizontalmente delante de los ojos, y estos nos dan la sensación de que nos estamos moviendo pero nuestro oído interno nos dice que estamos quietos. La discrepancia resultante hace que sintamos ganas de vomitar a los pocos minutos, aunque estamos sentados en una silla.)

Los mensajes de los ojos y del oído interno se pueden alterar también eléctricamente, estimulando la frontera entre los lóbulos temporal y parietal, y este es el origen de las experiencias extracorpóreas. Cuando se toca esta zona sensible, el cerebro queda confuso acerca de su posición en el espacio. (Un dato interesante es que la pérdida momentánea de sangre o de oxígeno, o un exceso de dióxido de carbono en la sangre, también puede causar una alteración en la región temporal-parietal e inducir experiencias extracorpóreas, lo que podría explicar estas sensaciones durante los accidentes, emergencias, ataques al corazón, etcétera.)[3]

EXPERIENCIAS CERCANAS A LA MUERTE

La sensación más espectacular de abandono del cuerpo es, tal vez, la que cuentan los individuos que han sido declarados muertos pero después recuperaron misteriosamente la consciencia. De hecho, del 6 al 12 por ciento de los supervivientes de paradas cardíacas declaran haber tenido experiencias «cercanas a la muerte». Es como si hubieran burlado a la muerte misma. Cuando se les entrevista, cuentan dramáticas versiones de la misma experiencia: abandonaron sus cuerpos y flotaron hacia una luz brillante al final de un largo túnel.

Los medios de comunicación se han lanzado sobre el tema, con numerosos best sellers y documentales de televisión dedicados a estas teatrales historias. Se han propuesto muchas teorías extravagantes para explicar las experiencias cercanas a la muerte. En una encuesta realizada a dos mil personas, el 42 por ciento creía que las experiencias cercanas a la muerte demostraban un contacto con el mundo espiritual que hay después de la muerte. (Hay quien cree que el cuerpo, antes de morir, libera endorfinas, que son un narcótico natural, lo cual podría explicar la euforia que sienten estas personas, pero no el túnel ni la luz brillante.) Carl Sagan llegó a especular que en las experiencias cercanas a la muerte se revivía el trauma del nacimiento. El hecho de que estos individuos cuenten experiencias muy similares no corrobora necesariamente que hayan atisbado el más allá. Más bien parece indicar que está ocurriendo un intenso proceso neurológico.

Los neurólogos se han tomado en serio este fenómeno y sospechan que la clave puede estar en la pérdida de flujo sanguíneo que se suele dar cerca de la muerte, y que también ocurre cuando uno se desmaya. El doctor Thomas Lempert, neurólogo de la clínica Castle Park de Berlín, realizó una serie de experimentos con cuarenta y dos individuos sanos, provocándoles un desmayo en condiciones controladas de laboratorio.[4] El 60 por ciento tuvo alucinaciones visuales (por ejemplo, luces brillantes y manchas de colores). El 47 por ciento declaraba haber encontrado un ser sobrenatural. El 17 por ciento vio una luz brillante. El 8 por ciento vio un túnel. Así pues, un desmayo puede reproducir todas las sensaciones de las personas con experiencias cercanas a la muerte. Pero ¿cómo ocurre esto exactamente?

El misterio de cómo un desmayo puede generar experiencias cercanas a la muerte se podría resolver estudiando a los pilotos militares. La Fuerza Aérea de Estados Unidos se puso en contacto con el neurofisiólogo Edward Lambert para que examinara a los pilotos que perdían el conocimiento cuando experimentaban grandes fuerzas g (por ejemplo, al ejecutar un giro muy cerrado con su avión o al lanzarse en picado).[5] El doctor Lambert sentó a los pilotos en una ultracentrifugadora de la clínica Mayo en Rochester (Minnesota), y los hizo girar en círculos hasta que experimentaban fuerzas g intensas. Al cabo de quince segundos de experimentar varios g de aceleración, se iban quedando inconscientes a causa de la fuga de sangre en el cerebro.

Descubrió que después de solo cinco segundos disminuía el flujo de sangre a los ojos de los pilotos, con el resultado de que su visión periférica se reducía, creando la imagen de un largo túnel. Esto podría explicar el túnel que ven tantas personas próximas a la muerte. Si se pierde la periferia de la visión, lo único que se ve es el estrecho túnel que se tiene delante. Pero como el doctor Lambert podía ajustar cuidadosamente la velocidad de la centrifugadora girando un botón, descubrió que podía mantener a los pilotos en este estado indefinidamente, lo que le permitió demostrar que esta visión en túnel se debe a la pérdida de flujo sanguíneo en la periferia del ojo.

¿PUEDE LA CONCIENCIA ABANDONAR EL CUERPO?

Los científicos que han investigado las experiencias cercanas a la muerte y las extracorpóreas están convencidos de que son subproductos del cerebro mismo cuando se encuentra en condiciones de gran tensión y sus conexiones se confunden. Sin embargo, otros científicos creen que algún día, dentro de varias décadas, cuando nuestra tecnología esté suficientemente avanzada, nuestra conciencia podrá abandonar verdaderamente nuestro cuerpo. Se han publicado varios métodos muy polémicos.

Uno de los métodos es el propuesto por el doctor Ray Kurzweil, futurista e inventor, quien cree que algún día se podrá descargar la conciencia en un superordenador. Cierta vez coincidimos en un congreso[6] y me contó que su fascinación por los ordenadores y la inteligencia artificial comenzó cuando tenía cinco años y sus padres le compraban toda clase de aparatos y juguetes mecánicos. Le gustaba estudiar aquellos aparatos y ya desde niño sabía que estaba destinado a ser inventor. En el Instituto Tecnológico de Massachusetts recibió su doctorado de manos del doctor Marvin Minsky, uno de los creadores de la inteligencia artificial. Después se inició en el oficio aplicando tecnología de reconocimiento de patrones a instrumentos musicales y aparatos de transformación de textos a sonidos. Consiguió aplicar en una serie de empresas sus investigaciones en estos campos de la inteligencia artificial (vendió su primera empresa cuando solo tenía veinte años). Su lector óptico, que podía reconocer un texto y convertirlo en sonido, se anunció como ayuda para los ciegos y fue incluso mencionado por Walter Cronkite en el informativo nocturno.

Para tener éxito como inventor, me dijo, siempre hay que ir por delante, anticiparse a los cambios, no reaccionar a ellos. De hecho, al doctor Kurzweil le encanta hacer predicciones, y muchas de ellas han reflejado el notable crecimiento exponencial de la tecnología digital. Ha realizado las siguientes predicciones:

- En 2019, un ordenador de mil dólares tendrá la potencia computacional del cerebro humano: veinte mil billones de cálculos por segundo. (El número se obtiene tomando los cien mil millones de neuronas del cerebro y multiplicándolo por mil conexiones por neurona y doscientos cálculos por segundo en cada conexión.)
- En 2029, un ordenador de mil dólares será mil veces más potente que el cerebro humano; el mismo cerebro humano se podrá reproducir por ingeniería inversa.
- En 2055, mil dólares de potencia informática tendrán el poder procesador de todos los seres humanos del planeta («Puede que me lo pierda por un año o dos», añade modestamente.)[7]

En particular, el año 2045 le parece muy importante al doctor Kurzweil, porque en ese año tendrá lugar la «singularidad». Para entonces, asegura, las máquinas habrán superado a los humanos en inteligencia y habrán creado una generación de robots aún más inteligentes que ellas. Dado que este proceso puede continuar indefinidamente, el doctor Kurzweil está seguro de que se producirá una interminable aceleración del poder de las máquinas. Llegados a esta situación, o nos mezclamos con ellas o tendremos que apartarnos de su camino. (Aunque estas fechas parecen lejanas, el doctor Kurzweil me dijo que espera vivir lo suficiente para ver el día en que los humanos alcancen por fin la inmortalidad; es decir, quiere vivir lo suficiente para vivir para siempre.)

Como sabemos por la ley de Moore, se llegará a un punto en el que la potencia informática ya no podrá avanzar creando transistores cada vez más pequeños. En opinión de Kurzweil, la única manera de seguir avanzando será aumentando el tamaño general, lo que llevará a los robots a buscar más potencia devorando los minerales de la Tierra. Cuando el planeta se haya convertido en un ordenador gigantesco, los robots se verán obligados a salir al espacio en busca de otras fuentes de potencia. Con el tiempo, pueden llegar a consumir la energía de estrellas enteras.

Una vez le pregunté si este crecimiento cósmico de los ordenadores podría alterar al cosmos mismo. Sí, respondió. Me dijo que a veces mira el cielo nocturno, preguntándose si en algún lejano planeta habrá seres inteligentes que hayan alcanzado ya la singularidad. De ser así, es posible que dejen alguna huella en las estrellas mismas que se pueda observar a simple vista.

Una limitación, me dijo, es la velocidad de la luz. A menos que estas máquinas puedan romper esta barrera, el crecimiento exponencial de la potencia puede tocar techo. Cuando esto ocurra, dice Kurzweil, es posible que alteren las propias leyes de la física.

Naturalmente, cualquiera que haga predicciones con tal precisión y tanto alcance atrae las críticas

como un pararrayos, pero eso no parece inquietarle. La gente puede poner pegas a esta o aquella predicción, ya que algunos de sus plazos se han incumplido, pero lo que más le importa es el empuje de sus ideas, que predicen un crecimiento exponencial de la tecnología. Para ser justos, la mayoría de los que trabajan en el campo de la inteligencia artificial con los que he hablado están de acuerdo en que puede darse algún tipo de singularidad, pero discrepan mucho en lo referente a cuándo y cómo. Por ejemplo, Bill Gates, cofundador de Microsoft, cree que ninguna de las personas que viven ahora llegará a ver el día en que los ordenadores sean lo bastante inteligentes para hacerse pasar por humanos.[8] Kevin Kelly, director de la revista *Wired*, ha dicho que: «La gente que predice un futuro muy utópico siempre pronostica que va a ocurrir antes de que ellos mueran».[9]

De hecho, uno de los muchos objetivos de Kurzweil es hacer volver a su padre a la vida. O más bien, lo que quiere es crear una simulación realista. Existen varias posibilidades, pero todas son aún muy especulativas.

Kurzweil propone la posibilidad de extraer ADN de su padre (de su tumba, de sus familiares o de materiales orgánicos que haya dejado). En sus aproximadamente veintitrés mil genes habrá un plano completo para crear el cuerpo de ese individuo. Después se podría cultivar un clon a partir del ADN.

Desde luego, es una posibilidad. Una vez le pregunté al doctor Robert Lanza, de la compañía Advanced Cell Technology, cómo pudo «devolver la vida» a un animal muerto mucho tiempo atrás, haciendo historia en el proceso. Me dijo que el zoológico de San Diego le pidió que creara un clon de un banteng, un animal parecido a un buey que se había extinguido hacía veinticinco años, más o menos.[10] La parte difícil era extraer una célula utilizable para la clonación, pero lo consiguió; después la envió a una granja, donde fue implantada en una vaca, que al final dio a luz a este animal. Aunque todavía no se ha clonado ningún primate, y mucho menos un ser humano, Lanza considera que el problema es solo técnico, y que únicamente es cuestión de tiempo que alguien clone un ser humano.

Esta sería la parte fácil. El clon sería genéticamente equivalente al original, pero sin sus recuerdos. No obstante, se podrían descargar unos recuerdos artificiales en el cerebro, utilizando las técnicas pioneras que se describen en el capítulo 5, como insertar sondas en el hipocampo o crear uno artificial. Pero el padre de Kurzweil hace mucho que falleció, de modo que es imposible realizar la grabación. Lo máximo que se podría hacer sería reunir fragmento a fragmento todos los datos históricos sobre esa persona, entrevistando a quienes posean todos los recuerdos relevantes o recogiendo las transacciones de su tarjeta de crédito, etcétera, y después introduciéndolos en el programa.

Una manera más práctica de insertar la personalidad y los recuerdos de una persona sería crear un enorme archivo de datos que contenga toda la información conocida acerca de sus hábitos y de su vida en general. Por ejemplo, hoy es posible almacenar todos nuestros correos electrónicos, las transacciones con una tarjeta de crédito, los registros, las agendas, los diarios electrónicos y la

historia personal en un solo archivo, que podría crear una imagen bastante precisa de quienes somos. Este archivo representaría nuestra «firma digital», que contendría todo lo que se sabe de nosotros. Sería considerablemente precisa e íntima, y detallaría los vinos que nos gustan, cómo pasamos las vacaciones, qué clase de jabón utilizamos, nuestro cantante favorito, etcétera.

Además, mediante un cuestionario, sería posible crear una aproximación de la personalidad del padre de Kurzweil. Sus amigos, parientes y allegados rellenarían un cuestionario con decenas de preguntas acerca de su personalidad, por ejemplo si era tímido, curioso, sincero o trabajador. Asignarían un número a cada característica (por ejemplo, un 10 significaría que era muy sincero). Así se elaboraría una serie de cientos de números, cada uno de los cuales calificaría un rasgo concreto de la personalidad. Una vez recopilado este vasto conjunto de números, un programa informático tomaría estos datos y haría una simulación aproximada de cómo se comportaría en situaciones hipotéticas. Supongamos que estamos pronunciando un discurso y nos topamos con una persona que nos interrumpe y se pone especialmente molesta. El programa examinaría los números y después predeciría un resultado entre varios posibles (por ejemplo, no hacer caso al que interrumpe, replicarle o bajar del estrado y pelearse con él). En otras palabras, la personalidad básica se ha reducido a una larga serie de números, del 1 al 10, que el ordenador puede utilizar para predecir cómo reaccionaríamos a situaciones nuevas.

El resultado sería un enorme programa informático que respondería a situaciones nuevas más o menos como respondería el original, utilizando las mismas expresiones verbales y con las mismas ocurrencias, todo ajustado a los recuerdos de esa persona.

Otra posibilidad sería prescindir de todo el proceso de clonación y simplemente crear un robot que se parezca a la persona original. Después sería sencillo insertar este programa en un aparato mecánico que se parezca a nosotros, hable con nuestros mismos acentos y modismos, y mueva los brazos y el cuerpo igual que nosotros. También sería fácil añadir nuestras expresiones favoritas (como «o sea»).

Por supuesto, hoy sería fácil detectar que ese robot era una imitación. Pero en las próximas décadas, resultaría posible acercarse cada vez más al original, y el robot podría llegar a ser tan bueno como para engañar a algunas personas.

Pero esto plantea una cuestión filosófica: ¿es esta «persona» la misma que la original? El original sigue muerto, de modo que el clon o el robot son, estrictamente hablando, unos impostores. Una grabadora, por ejemplo, puede reproducir una conversación nuestra con perfecta fidelidad, pero desde luego no es el original. ¿Puede un clon o un robot que se comporta igual que el original ser un sustituto válido?

INMORTALIDAD

Estos métodos han recibido críticas porque el proceso no infunde de manera realista nuestra verdadera personalidad y nuestros recuerdos. Hay una forma más fiable de introducir una mente en una máquina, por medio del Proyecto Conectoma, del que hemos hablado en el capítulo anterior, y que se propone replicar, neurona a neurona, todas las rutas celulares del cerebro. Todos nuestros recuerdos y rasgos de personalidad están ya incluidos en el conectoma.

El doctor Sebastian Seung, del Proyecto Conectoma, señala que hay personas que pagan cien mil dólares o más para que se congele su cerebro en nitrógeno líquido. Algunos animales, como ciertas especies de peces y ranas, pueden quedar congelados dentro de un bloque de hielo en invierno y aun así seguir viviendo cuando se descongelan en primavera. Esto es posible porque utilizan glucosa como anticongelante para alterar el punto de congelación del agua de su sangre. De este modo, su sangre se mantiene líquida, aunque estén atrapados en hielo sólido. Sin embargo, en el cuerpo humano, una concentración tan alta de glucosa probablemente resultaría fatal, de modo que congelar el cerebro humano en nitrógeno líquido es un procedimiento dudoso, porque el hielo, al expandirse, rompería la pared celular desde dentro (y, además, cuando las células cerebrales mueren, entran en ellas iones de calcio, haciendo que las células se hinchen hasta que por fin revientan). En cualquier caso, lo más probable es que las células cerebrales no sobrevivan al proceso de congelación.

En lugar de congelar el cuerpo y hacer que las células revienten, un proceso mejor para alcanzar la inmortalidad podría ser hacerse un conectoma completo. El médico tendría todas nuestras conexiones neuronales en un disco duro. Básicamente, ahora nuestra alma estaría en un disco, reducida a información. Después, en el futuro, alguien será capaz de resucitar el conectoma y, en principio, utilizar un clon o una maraña de transistores para traernos de vuelta a la vida.

Como ya hemos dicho, el Proyecto Conectoma está aún muy lejos de poder registrar las conexiones neuronales humanas. Pero según el doctor Seung: «¿Hacemos bien en ridiculizar a los modernos buscadores de la inmortalidad llamándoles locos? ¿O algún día ellos se reirán sobre nuestras tumbas?».[11]

ENFERMEDADES MENTALES E INMORTALIDAD

Pero la inmortalidad puede tener sus inconvenientes. Los cerebros electrónicos que se han construido hasta ahora solo contienen las conexiones entre la corteza y el tálamo. El cerebro creado mediante ingeniería inversa, al carecer de cuerpo, podría empezar a sufrir aislamiento sensorial, e incluso manifestar síntomas de enfermedades mentales, como les ocurre a los presos cuando los confinan en celdas de aislamiento. Puede que el precio de crear un cerebro inmortal mediante ingeniería inversa sea la locura.

Las personas confinadas en cámaras de aislamiento, donde están privadas de todo contacto con el mundo exterior, acaban teniendo alucinaciones. En 2008 la BBC-TV emitió un programa científico titulado «Aislamiento total», en el que se seguía a seis voluntarios aislados en un búnker nuclear, en completa oscuridad.[12] Después de solo dos días, tres de los voluntarios empezaron a ver y oír alucinaciones: serpientes, automóviles, cebras y ostras. Cuando salieron del aislamiento, los médicos descubrieron que todos ellos sufrían deterioro mental. La memoria de uno de los sujetos sufrió una reducción del 36 por ciento. Podemos imaginarnos que después de unas cuantas semanas o meses, la mayoría de ellos se habrían vuelto locos.

Para mantener la cordura de un cerebro creado mediante ingeniería inversa sería imprescindible conectarlo a sensores que recibieran señales del entorno. Así sería capaz de ver y sentir sensaciones del mundo exterior. Pero entonces surgiría otro problema: podría sentir que es un monstruo grotesco, un monumental conejillo de Indias a merced de un experimento científico. Como este cerebro tiene la misma memoria y personalidad que el ser humano original, desearía contacto humano. Y sin embargo, oculto dentro de la memoria de un superordenador, con una macabra jungla de electrodos colgando por fuera, el cerebro de ingeniería inversa resultaría repulsivo para cualquier humano. Sería imposible establecer lazos con él. Sus amigos lo rehuirían.

EL PRINCIPIO DEL CAVERNÍCOLA

En este punto entra en juego lo que yo llamo el «principio del cavernícola». ¿Por qué fallan tantas predicciones razonables? ¿Y por qué alguien *no* querría vivir para siempre dentro de un ordenador?

El principio del cavernícola enuncia que: puestos a elegir entre la alta tecnología y el contacto humano, siempre elegimos el segundo. Por ejemplo, si nos dan a elegir entre entradas para ver en directo a nuestro cantante favorito y un CD suyo grabado en concierto, ¿qué elegiríamos? Y si nos dan a escoger entre ir a visitar el Taj Mahal o una simple fotografía, por buena que sea, ¿qué preferiríamos? Es más que probable que el concierto en directo y la visita en persona.

Esto se debe a que hemos heredado la conciencia de nuestros antepasados primitivos. Probablemente, parte de nuestra personalidad básica no ha cambiado mucho en los últimos cien mil años, desde que los primeros humanos modernos salieron de África. Una buena parte de nuestra conciencia está dedicada a tener buen aspecto y procurar impresionar a miembros del sexo opuesto y a nuestros iguales. Esto está programado en nuestros cerebros.

Lo más probable, dada nuestra conciencia primate básica, es que solo nos fundamos con los ordenadores si ello mejora, pero no sustituye por completo, nuestro cuerpo actual.

El principio del cavernícola probablemente explique que algunas predicciones razonables sobre el futuro no se hayan cumplido, como la de «la oficina sin papeles». Se suponía que los ordenadores

iban a acabar con los papeles en la oficina. Paradójicamente, han generado aún más papel. Esto se debe a que descendemos de cazadores que necesitan «pruebas de la caza» (es decir, nos fiamos de la evidencia material, no de efímeros electrones que bailan en una pantalla de ordenador y se desvanecen cuando lo apagas). Tampoco se materializó nunca «la ciudad sin habitantes», donde la gente utilizaría la realidad virtual para asistir a reuniones, en lugar de acudir en persona. El tráfico de entrada y salida de las ciudades está peor que nunca. ¿Por qué? Porque somos animales sociales y nos gusta relacionarnos con los demás. Las videoconferencias, aunque resultan útiles, no pueden captar todo el espectro de información sutil que ofrece el lenguaje corporal. Un jefe, por ejemplo, puede querer sacar a la luz problemas entre el personal, y por lo tanto querrá ver a sus empleados encogerse y sudar al ser interrogados. Esto solo podemos hacerlo en persona.

CAVERNÍCOLAS Y NEUROCIENCIA

Cuando era niño leí la *Trilogía de la Fundación* de Isaac Asimov y me influyó muchísimo. En primer lugar, me hizo plantearme una pregunta sencilla: ¿cómo será la tecnología dentro de cincuenta mil años, cuando tengamos un Imperio Galáctico? Tampoco pude evitar preguntarme durante toda la novela por qué los humanos tenían el mismo aspecto y hacían iguales cosas que nosotros. A mí me parecía que dentro de miles de años, los humanos del futuro tendrían cuerpos ciborg con capacidades sobrehumanas. Deberían haberse desprendido de sus frágiles formas humanas hacía milenios.

Acabé encontrando dos respuestas. La primera, que Asimov pretendía atraer a un público joven, dispuesto a comprar su libro, así que tenía que crear personajes con los que sus lectores pudieran identificarse, incluyendo todos sus defectos. La segunda, que era posible que la gente del futuro dispusiera de la opción de tener cuerpos superpoderosos pero prefiriera parecer normal la mayor parte del tiempo. Esto se debe a que sus mentes no han cambiado desde que salieron de la selva, de modo que la aceptación de sus iguales y del sexo opuesto sigue determinando su apariencia y lo que quieren de la vida.

Apliquemos ahora el principio del cavernícola a la neurociencia del futuro. Como mínimo, significa que cualquier modificación de la forma humana básica tendría que ser casi invisible por fuera. Nadie quiere parecer alguien escapado de una película de ciencia ficción, con electrodos colgando de la cabeza. Los implantes cerebrales que puedan insertar recuerdos o aumentar nuestra inteligencia solo se adoptarán si la nanotecnología puede construir sensores microscópicos y sondas invisibles a simple vista. En el futuro, podría ser posible fabricar nanofibras, tal vez de nanotubos de carbono de una molécula de grosor, tan finas que podrían conectarse con las neuronas con precisión quirúrgica, pero dejando nuestra apariencia inalterada, con nuestras capacidades mentales mejoradas.

Mientras tanto, si necesitamos conectarnos a un superordenador para descargar información, no

queremos estar atados a un cable enchufado a la médula espinal, como en la película *Matrix*. La conexión tendrá que ser inalámbrica, para poder acceder a enormes cantidades de potencia informática con solo localizar mentalmente el servidor más próximo.

Ahora mismo disponemos de implantes cocleares y retinas artificiales que ofrecen el don de la vista y el oído a los pacientes, pero en el futuro nuestros sentidos se mejorarán utilizando nanotecnología y manteniendo al mismo tiempo nuestra forma humana básica. Por ejemplo, podríamos tener la opción de mejorar nuestra musculatura mediante modificación genética o con exoesqueletos. Podrían existir tiendas de repuestos humanos, en las que podríamos adquirir componentes sueltos a medida que los viejos se van gastando, pero estas y otras mejoras físicas del cuerpo tendrían que abstenerse de abandonar la forma humana.

Otra manera de utilizar esta tecnología ateniéndose al principio del cavernícola sería manteniéndola como una opción y no como un modo de vida permanente. Se podría aceptar la opción de conectarse a esta tecnología y desconectarse poco después. Es posible que los científicos quieran aumentar su inteligencia para resolver un problema particularmente complicado. Pero después podrán quitarse los cascos o los implantes y seguir haciendo vida normal. De este modo, nuestros amigos no nos pillarán con pinta de cadetes del espacio. Querremos la opción de disfrutar de las ventajas de esta tecnología sin el inconveniente de parecer ridículos.

Así pues, en los siglos venideros, es probable que nuestros cuerpos tengan un aspecto muy similar a los de hoy, solo que perfeccionados y con más facultades. Un vestigio de nuestro pasado primate es que nuestra conciencia está dominada por deseos y tendencias muy antiguos.

Pero ¿y la inmortalidad? Como hemos visto, un cerebro de ingeniería inversa, con todos los rasgos de personalidad de la persona original, acabaría volviéndose loco si estuviera siempre dentro de un ordenador. Además, si se conectara este cerebro a sensores externos para que pudiera sentir el entorno, se crearía una monstruosidad grotesca. Una solución parcial a este problema sería conectar el cerebro de ingeniería inversa a un exosqueleto. Si este actúa como sustituto o representante, el cerebro podría experimentar sensaciones como el tacto y la visión sin parecer grotesco. Con el tiempo, el exoesqueleto sería inalámbrico y podría actuar como un humano, pero siempre controlado por un cerebro de ingeniería inversa que «viviría» dentro de un ordenador.

Este sustituto sería lo mejor de los dos mundos. Al ser un exoesqueleto, sería perfecto y tendría superpoderes. Al estar conectado sin cables a un cerebro de ingeniería inversa contenido en un gran ordenador, también sería inmortal. Y por último, como podría sentir el entorno y parecer un humano atractivo, no tendría tantos problemas para interactuar con los humanos, muchos de los cuales probablemente optarían por este procedimiento. Así pues, el verdadero conectoma residiría en un superordenador inmóvil, pero su conciencia podría manifestarse en un cuerpo sustituto, móvil y perfecto.

Todo esto exigiría un nivel de tecnología muy por encima de lo que es posible en la actualidad. Sin

embargo, dada la rapidez con que progresa la ciencia, podría hacerse realidad a finales de siglo.

TRANSFERENCIA GRADUAL

Ahora mismo el proceso de ingeniería inversa implica transferir la información contenida en el cerebro neurona a neurona. Hay que cortar el cerebro en finas lonchas, ya que los aparatos de imagen por resonancia magnética todavía no están lo bastante perfeccionados para identificar la arquitectura neuronal exacta del cerebro vivo. Por lo tanto, hasta que se pueda conseguir esto, el inconveniente más obvio de este método es que tenemos que morir antes de que puedan reconstruirnos por ingeniería inversa. Dado que el cerebro se degenera muy deprisa después de la muerte, su preservación tendría que llevarse a cabo de inmediato, lo cual es muy difícil.

Sin embargo, puede haber otra manera de alcanzar la inmortalidad sin tener que morir antes. El pionero de esta idea fue el doctor Hans Moravec, ex director del Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad de Carnegie Mellon. Cuando lo entrevisté, me dijo que puede imaginar una época en el futuro lejano en la que podamos usar la ingeniería inversa del cerebro para un fin específico: transferir la mente a un cuerpo robótico inmortal mientras uno aún está consciente.[13] Si podemos reproducir por ingeniería inversa todas las neuronas del cerebro, ¿por qué no crear una copia hecha de transistores que replique con exactitud los procesos de pensamiento de la mente? De este modo, no tendríamos que morir para vivir eternamente. Además, podríamos permanecer conscientes durante todo el proceso.

Me dijo que este proceso se tendría que hacer por etapas. Primero nos tumbaríamos en una camilla al lado de un robot sin cerebro. A continuación, un cirujano robótico extraería unas pocas neuronas de nuestro cerebro y las duplicaría mediante algunos transistores instalados en el robot. Se conectaría con cables nuestro cerebro a los transistores de la cabeza vacía del robot. Después se desecharían las neuronas, sustituyéndolas por el circuito de transistores. Como nuestro cerebro seguiría conectado a los transistores por medio de cables, funcionaría con normalidad y seríamos plenamente conscientes durante este proceso. Ahora el supercirujano iría extrayendo más y más neuronas de nuestro cerebro, y cada vez duplicaría estas neuronas en el robot con transistores. Cuando la operación fuera por la mitad, una parte de nuestro cerebro estaría vacía; la otra estaría conectada mediante cables a un enorme conjunto de transistores dentro de la cabeza del robot. Al final se habrían eliminado todas las neuronas del cerebro y tendríamos un cerebro de robot que sería una copia exacta del nuestro original, neurona a neurona.

Una vez finalizado este proceso nos levantaríamos de la camilla y descubriríamos que nuestro cuerpo está perfectamente formado. Seríamos hermosos más allá de nuestros sueños, con poderes y capacidades sobrehumanos. Y para colmo, también seríamos inmortales. Miraríamos nuestro cuerpo

mortal original y veríamos solo un caparazón sin mente que va envejeciendo.

Por supuesto, esta tecnología está muy lejos de nuestro tiempo. No podemos construir un cerebro mediante ingeniería inversa, y mucho menos una copia exacta hecha de transistores. (Una de las principales críticas a este enfoque es que un cerebro transistorizado no cabría en el cráneo. De hecho, dado el tamaño de los componentes electrónicos, el cerebro transistorizado sería como un superordenador gigante. En este sentido, la propuesta empieza a parecerse a la anterior, en la que el cerebro de ingeniería inversa estaría encerrado en un enorme superordenador, que a su vez controlaría un cuerpo sustituto. Pero la gran ventaja de este método es que la persona no tiene que morir; es plenamente consciente durante todo el proceso.)

La cabeza nos da vueltas al pensar en estas posibilidades. Todas ellas parecen consistentes con las leyes de la física, pero las barreras tecnológicas parecen infranqueables. Todas estas ideas para descargar nuestra consciencia en un ordenador requieren una tecnología que está muy lejos en el futuro.

Pero aún existe una última propuesta para alcanzar la inmortalidad que no requiere ingeniería inversa del cerebro. Solo se necesitaría un robot microscópico capaz de manipular átomos individuales. ¿Por qué no vivir para siempre en nuestro cuerpo natural, únicamente pasando por una «revisión» periódica que lo volvería inmortal?

¿QUÉ ES EL ENVEJECIMIENTO?

Este nuevo enfoque incorpora las últimas investigaciones sobre el proceso de envejecimiento. Tradicionalmente, no había consenso entre los biólogos acerca de la causa del proceso de envejecimiento. No obstante, en la última década, una nueva teoría ha ido ganando aceptación y ha unificado muchas vías de investigación. Básicamente, el envejecimiento es la acumulación de errores a niveles genético y celular. Cuando las células se vuelven viejas, empiezan a acumularse errores en su ADN, además de desechos celulares, por lo que las células se vuelven torpes. Cuando las células empiezan a funcionar mal y más despacio, la piel se afloja, los huesos se vuelven frágiles, el pelo se cae y nuestro sistema inmunitario se deteriora. Y al final morimos.

Pero la célula también tiene mecanismos para corregir los errores. Con el tiempo, sin embargo, estos también empiezan a fallar, y el envejecimiento se acelera. Así pues, el objetivo es reforzar los mecanismos naturales de reparación celular, lo cual se puede lograr mediante terapia génica y creando nuevas enzimas. Pero existe otra posibilidad: la utilización de «nanobots» reparadores.

Uno de los pilares de esta tecnología futurista será una cosa llamada «nanobot»: máquinas atómicas que patrullarán nuestro torrente sanguíneo, eliminando células cancerosas, reparando los daños del proceso de envejecimiento, y manteniéndonos jóvenes y sanos para siempre. La naturaleza

ya ha creado algunos nanobots: las células inmunitarias que patrullan nuestro cuerpo a través de la sangre. Pero estas atacan a los virus y cuerpos extraños, no al proceso de envejecimiento.

La inmortalidad estaría a nuestro alcance si estos nanobots pudieran anular los estragos del proceso de envejecimiento a nivel molecular y celular. Según esta idea, los nanobots serían como las células inmunitarias: una policía microscópica que patrulla la corriente sanguínea. Atacan a las células cancerosas, neutralizan los virus y limpian los desechos y las mutaciones. La posibilidad de ser inmortales estaría a nuestro alcance utilizando nuestro propio cuerpo, no un robot o un clon.

NANOBOTS: ¿REALIDAD O FANTASÍA?

Según mi filosofía personal, si algo es consistente con las leyes de la física, construirlo es solo un problema de ingeniería y economía. Por supuesto, los obstáculos técnicos y económicos pueden ser extraordinarios, volviéndolo impracticable por el momento, pero seguiría siendo posible.

A primera vista, el nanobot es sencillo: una máquina atómica con brazos y pinzas que agarra moléculas, las corta por puntos concretos y después vuelve a empalmarlas. A base de cortar y pegar ciertos átomos, el nanobot puede crear casi cualquier molécula conocida, como un mago que saca cosas de una chistera. También puede autorreplicarse, así que solo sería necesario construir un nanobot. Después este tomaría materias primas, las asimilaría y crearía millones de nanobots. Esto podría desencadenar una segunda revolución industrial a medida que baje el precio de los materiales de fabricación. Puede que un día todos los hogares dispongan de su propio constructor molecular, que fabricará todo lo que queramos con solo pedírselo.

Entonces, la pregunta clave es: ¿son los nanobots consistentes con las leyes de la física? En 2001 dos visionarios estuvieron a punto de enzarzarse a golpes por esta cuestión crucial. Estaba en juego nada menos que una visión completa del futuro de la tecnología. A un lado estaba Richard Smalley, Premio Nobel de química y escéptico acerca de los nanobots. En el otro estaba Eric Drexler, uno de los creadores de la nanotecnología.[14] Su titánica batalla se desarrolló en las páginas de varias revistas científicas desde 2001 hasta 2003.

Smalley argumentaba que, al llegar a la escala atómica, se manifestarían nuevas fuerzas cuánticas que harían imposibles a los nanobots. El error de Drexler y otros, decía, era que el nanobot, con sus brazos y sus tijeras, no puede funcionar a escala atómica. Allí hay nuevas fuerzas (como la fuerza de Casimir) que hacen que los átomos se atraigan o se repelan. Él lo llamaba «el problema de los dedos gordos y pegajosos», porque los dedos del nanobot no son como alicates y tenazas delicados y precisos. Las fuerzas cuánticas interfieren, y sería como intentar soldar metales con unos guantes de muchos centímetros de grosor. Además, cada vez que intentáramos soldar dos piezas metálicas, estas serían repelidas o se nos pegarían, de modo que nunca podríamos agarrar bien una.

Drexler replicó que los nanobots no son ciencia ficción, sino que existen en la realidad. Pensemos en los ribosomas de nuestras células. Son imprescindibles para crear y montar las moléculas de ADN. Pueden cortar y empalmar las moléculas de ADN por puntos específicos, lo que hace posible la creación de nuevas cadenas de ADN.

Pero Smalley no quedó satisfecho y argumentó que los ribosomas no son máquinas para cualquier uso, capaces de cortar y pegar todo lo que queramos: funcionan exclusivamente con moléculas de ADN. Además, estos ribosomas son materiales orgánicos que necesitan enzimas para acelerar la reacción, y esto solo ocurre en un medio acuoso. Los transistores están hechos de silicio, no de agua, de modo que las enzimas nunca funcionarían, concluyó. Drexler, a su vez, comentó que los catalizadores pueden funcionar incluso sin agua. Este acalorado intercambio se prolongó durante varios asaltos. Al final, como dos boxeadores igualados, los dos contrincantes parecían exhaustos. Drexler tuvo que reconocer que la analogía con operarios armados de tijeras y sopletes era demasiado simplista, y que las fuerzas cuánticas interfieren en algunas ocasiones. Pero Smalley fue incapaz de asestar un golpe definitivo. La naturaleza dispone de al menos un modo de eludir el problema de los «dedos gordos y pegajosos» —los ribosomas— y puede que existan otras maneras más sutiles e imprevistas.

Dejando aparte los detalles de este debate, Ray Kurzweil está convencido de que los nanobots, tengan o no los dedos gordos y pegajosos, algún día modelarán no solo moléculas, sino la sociedad misma. Resumió esta visión cuando dijo: «No tengo previsto morir […] En el fondo lo veo como un despertar del universo entero. Creo que ahora mismo este se encuentra básicamente hecho de materia y energía tontas, y creo que se despertará. Pero si se transforma en estas materia y energía sublimemente inteligentes, espero formar parte de ello».[15]

Por fantásticas que parezcan estas especulaciones, son únicamente el prefacio del siguiente salto de la especulación. Puede que algún día la mente no solo se libere de su cuerpo material, sino que también sea capaz de explorar el universo como un ser de energía pura. La idea de que algún día la conciencia pueda vagar libremente entre las estrellas es el sueño definitivo. Por increíble que parezca, también esto encaja en las leyes de la física.

13

La mente como energía pura

La idea de que algún día la conciencia pueda expandirse por el universo ha sido considerada en serio por los físicos. Sir Martin Rees, astrónomo real de Gran Bretaña, ha escrito: «Los agujeros de gusano, las dimensiones extras y los ordenadores cuánticos abren panoramas especulativos que podrían transformar todo nuestro universo en un “¡cosmos vivo!”».[1]

Pero ¿podrá algún día la mente librarse de su cuerpo material para explorar todo el universo? Este era el tema del relato clásico de ciencia ficción «La última pregunta», de Isaac Asimov. (Asimov decía con orgullo que, de todos los que escribió, este era su relato favorito.) En él, miles de millones de años en el futuro, los humanos han dejado su cuerpo físico en receptáculos en un discreto planeta, quedando su mente libre para viajar como energía pura por toda la galaxia. En lugar de cuerpos de sustitución hechos de acero y silicio, estos avatares son seres de energía pura que pueden recorrer sin esfuerzo los lejanos confines del espacio, ver cómo explotan las estrellas y chocan las galaxias, además de otras maravillas del universo. Sin embargo, a pesar de lo poderosa que se ha vuelto la humanidad, está impotente ante la muerte definitiva del universo en la Gran Congelación. Desesperada, la humanidad construye un superordenador para que responda la pregunta final: ¿se puede revertir la muerte del universo? El ordenador es tan grande y complejo que hay que instalarlo en el hiperespacio. Pero se limita a responder que no hay información suficiente para dar una respuesta.

Eones después, cuando las estrellas empiezan a apagarse, toda la vida del universo está a punto de morir. Entonces el superordenador descubre por fin una manera de invertir la muerte del universo. Recoge estrellas muertas por todo el cosmos, las combina en una gigantesca bola cósmica y la enciende. Cuando la bola estalla, el superordenador proclama «¡Hágase la luz!».

Y la luz se hizo.

Al principio, el relato fantástico de Asimov sobre seres hechos de energía pura que recorren el universo parece imposible. Estamos acostumbrados a pensar en seres de carne y hueso, que están a merced de las leyes de la física y la biología, viviendo y respirando en la Tierra, sujetos por la gravedad de nuestro planeta. El concepto de entidades conscientes que son solo energía y vagan por la galaxia sin las limitaciones del cuerpo material resulta extraño.

Sin embargo, este sueño de explorar el universo como seres de energía pura encaja dentro de las

leyes de la física. Pensemos en la forma más familiar de energía pura, un rayo láser, que es capaz de contener enormes cantidades de información. En la actualidad, billones de señales en forma de llamadas telefónicas, paquetes de datos, vídeos y mensajes de correo electrónico se transmiten de manera rutinaria por cables de fibra óptica recorridos por rayos láser. Algún día, puede que en el próximo siglo, podremos transmitir la conciencia de nuestro cerebro por todo el sistema solar, cargando todo nuestro conectoma en un potente rayo láser. Un siglo después, puede que seamos capaces de viajar a las estrellas cabalgando en un rayo de luz.

(Esto es posible porque la longitud de onda de un rayo láser es microscópica, se mide en millonésimas de metro. Esto significa que se pueden comprimir enormes cantidades de información en su patrón de onda. Pensemos en el código morse. Los puntos y las rayas del código morse se pueden superponer con facilidad en el patrón de onda de un rayo láser. Y aun más información se puede transmitir en un haz de rayos X, cuya longitud de onda es más corta que un átomo.)

Una manera de explorar la galaxia sin las molestas limitaciones de la materia sería enviar nuestro conectoma en rayos láser dirigidos a la Luna, los planetas e incluso las estrellas. Con un programa intensivo para localizar las rutas del cerebro, a finales de este siglo dispondríamos del conectoma completo del cerebro humano, y en el siglo siguiente podríamos tener una forma de este que se pudiera cargar en un rayo láser.

El rayo láser contendría toda la información necesaria para volver a montar un ser consciente. Aunque puede tardar años e incluso siglos en llegar a su destino, desde el punto de vista de la persona que viaja en el láser el viaje sería instantáneo. Nuestra conciencia estaría como congelada en el rayo láser mientras este recorre el espacio vacío, de modo que parecería que el viaje hasta el otro confín de la galaxia se hace en un abrir y cerrar de ojos.

De esta manera evitaríamos todos los aspectos desagradables de los viajes interplanetarios e interestelares. Para empezar, no habría necesidad de construir gigantescos cohetes impulsores. Bastaría con apretar el botón de «encendido» del láser. En segundo lugar, no habría poderosas fuerzas g aplastando nuestro cuerpo mientras se acelera hacia el espacio. Resultaríamos lanzados instantáneamente a la velocidad de la luz, ya que seríamos inmateriales. En tercer lugar, no habría que exponerse a los peligros del espacio exterior, como el choque con meteoritos y los mortíferos rayos cósmicos, ya que los asteroides y la radiación pasarían a través de nosotros sin hacernos daño. En cuarto lugar, no habría que congelar el cuerpo ni soportar años de aburrimiento viajando lenta y tediosamente en un cohete convencional; atravesaríamos el espacio a la máxima velocidad posible en el universo, congelados en el tiempo.

Una vez llegados a nuestro destino, tendría que haber una estación receptora para transferir los datos del rayo láser a un gran ordenador central y así hacer volver a la vida al ser consciente. El código que se imprimió en el rayo láser tomaría entonces el control del ordenador y redirigiría su programación. El conectoma dirigiría al ordenador central para que empezase a simular el futuro

con el fin de lograr sus objetivos (es decir, para que se hiciese consciente).

Entonces este ser consciente encerrado en el ordenador enviaría señales inalámbricas a un cuerpo robot, que estaría esperándonos en la estación de destino. De este modo «despertaríamos» de repente en nuestro cuerpo robótico, en un lejano planeta o en una estrella, como si el viaje se hubiera realizado en un abrir y cerrar de ojos. Todos los complejos cálculos tendrían lugar en un gran ordenador central, que dirigiría los movimientos del cuerpo sustituto para que este hiciera nuestra tarea en una estrella remota. No nos habríamos enterado de los peligros del viaje espacial, como si no hubiera ocurrido.

Ahora imaginemos una vasta red de estaciones como esta, repartidas por todo el sistema solar e incluso por la galaxia. Desde nuestro punto de vista, saltar de una estrella a otra se haría casi sin esfuerzo, viajando a la velocidad de la luz de modo instantáneo. En cada estación habría un cuerpo robot esperándonos para que entráramos en él, como una habitación de hotel vacía que espera que la ocupemos. Llegaríamos a nuestro destino frescos y equipados con un cuerpo sobrehumano.

El tipo de cuerpo robótico que nos esperaría al final de este viaje dependería de la naturaleza de la misión. Si la tarea consiste en explorar un nuevo mundo, el cuerpo robótico tendrá que trabajar en condiciones adversas. Tendría que adaptarse a un campo gravitatorio distinto, a una atmósfera tóxica, a temperaturas congeladoras o abrasadoras, a diferentes ciclos de día y noche y a una lluvia constante de radiación mortífera. Para sobrevivir en estas condiciones tan duras, el cuerpo robótico debería tener superfuerza y supersentidos.

Si el cuerpo sustituto es solo para la relajación, estaría diseñado para actividades de ocio. Maximizaría el placer de surcar el espacio en esquíes, tablas de surf, cometas, planeadores o aeroplanos, o de lanzar al espacio una pelota impulsada por un bate de béisbol, un palo de golf o una raqueta. Y si el trabajo consiste en mezclarse con la población nativa para estudiarla, el cuerpo robótico tendría que aproximarse a las características físicas de la población nativa (como en la película *Avatar*).

Por supuesto, para crear esta red de estaciones láser primero sería necesario viajar a los planetas y estrellas a la vieja usanza, en cohetes convencionales. Después se construiría el primer conjunto de estaciones láser. (Puede que la manera más rápida, barata y eficiente de crear esta red interestelar sea enviar a la galaxia sondas robóticas capaces de replicarse. Como estas pueden hacer copias de sí mismas, se podría empezar por una sonda y después de muchas generaciones habría miles de millones de ellas lanzadas en todas las direcciones, cada una creando una estación láser allí donde aterrizase. Hablaremos más de esto en el siguiente capítulo.)

Una vez establecida la red, podemos imaginar un flujo constante de seres conscientes cruzando la galaxia, de modo que en cualquier momento llegarían y partirían multitudes hacia y desde lejanos puntos de la galaxia. Una estación láser de la red podría parecer la estación Grand Central de Nueva York.

Aunque todo esto parezca muy futurista, la física básica en que se apoya la idea está ya bien establecida. Esto incluye almacenar enormes cantidades de datos en rayos láser, enviar esta información a grandes distancias y después descodificarla al final del viaje. El principal problema que tiene esta idea no es de física, sino de ingeniería. Por eso, puede que tardemos más de un siglo en ser capaces de enviar nuestro conectoma completo en rayos láser lo bastante potentes para llegar a otros planetas. Y podríamos necesitar otro siglo más para enviar nuestras mentes hacia las estrellas.

Para ver si esto es factible, resultan instructivos unos cuantos cálculos aproximados. El primer problema es que los fotones del interior de un rayo láser del grosor de un lápiz, aunque parezcan estar en formación perfectamente paralela, en realidad divergen ligeramente en el espacio. (Cuando yo era niño, apuntaba con una linterna a la luna y me preguntaba si la luz llegaría hasta ella. La respuesta es sí. La atmósfera absorbe más del 90 por ciento del rayo original, dejando un poco que llega a la luna. Pero el verdadero problema es que el círculo de luz que la linterna proyecta sobre la luna tiene kilómetros de diámetro. Esto se debe al principio de incertidumbre; hasta los rayos láser tienen que divergir poco a poco. Según las leyes de la física cuántica, como no podemos saber la situación exacta del rayo láser, este tiene que ensancharse poco a poco con el tiempo.)

Pero enviar nuestro conectoma en un rayo a la Luna no nos da mucha ventaja, ya que resulta más fácil quedarse en la Tierra y controlar el robot lunar directamente por radio. Cuando se envían órdenes a este, el retraso es solo de un segundo, aproximadamente. La verdadera ventaja aparece cuando se controlan cuerpos sustitutos en los planetas, ya que un mensaje por radio puede tardar horas en llegar al robot. El proceso de enviar una serie de órdenes por radio, esperar la respuesta y mandar otra sería lentísimo, y ocuparía muchos días.

Si queremos enviar el rayo láser a otros planetas, lo primero que hay que hacer es instalar una batería de láseres sobre la Luna, muy por encima de la atmósfera, donde no haya aire que absorba la señal. Después, un rayo láser enviado desde la Luna a los planetas podría llegar en cuestión de minutos o de pocas horas. Una vez que el rayo láser haya mandado el conectoma a los planetas, será posible controlar directamente el cuerpo robot sin ningún factor de retraso.

El establecimiento de una red de estaciones láser como esta por el sistema solar podría hacerse en el próximo siglo. Pero los problemas se magnifican cuando intentamos enviar el rayo a las estrellas. Para ello deberíamos tener estaciones retransmisoras instaladas en asteroides y plataformas espaciales a lo largo del camino, con el fin de amplificar la señal, reducir errores y enviar el mensaje a la siguiente estación retransmisora. Esto tal vez pudiera hacerse utilizando los cometas que están entre nuestro sol y las estrellas más próximas. Por ejemplo, aproximadamente a un año luz del sol (un cuarto de la distancia a la estrella más próxima) se encuentra la nube de Oort, un espacio esférico con miles de millones de cometas, muchos de los cuales están inmóviles en el espacio vacío. Es posible que exista una nube de Oort similar, llena de cometas, rodeando al sistema estelar de las Centauri, nuestro vecino estelar más próximo. Suponiendo que esta nube de Oort se encuentre a un

año luz de estas estrellas, entonces la mitad de la distancia entre nuestro sistema solar y el más próximo estaría cubierta por cometas estacionarios en los que podríamos construir estaciones retransmisoras de láser.

Otro problema sería la cantidad misma de datos que habría que enviar a través del rayo láser. Según el doctor Sebastian Seung, la información total contenida en el conectoma de una persona ocuparía aproximadamente un zettabyte (es decir, un uno con veintiún ceros detrás). Esto equivale más o menos a la información total contenida actualmente en internet. Consideremos ahora el envío al espacio de una batería de rayos láser conteniendo toda esta montaña de información. Las fibras ópticas pueden transmitir terabytes de datos por segundo (un uno con doce ceros detrás). En el próximo siglo, los avances en almacenamiento de información, compresión de datos y formación de haces de rayos láser pueden multiplicar esta eficiencia por un millón. Esto significa que aún se tardaría unas cuantas horas en enviar al espacio un rayo que transportara toda la información contenida en nuestro cerebro.

Así pues, el problema no está en la cantidad de datos enviada en los rayos láser. En principio, estos pueden transportar una cantidad ilimitada de datos. Los verdaderos atascos se producirían en las estaciones receptoras de cada extremo, que deberían tener interruptores para procesar con rapidez esta cantidad de datos que llega a velocidad de vértigo. Puede que los transistores de silicio no sean lo bastante rápidos para manejar este volumen de datos. Tal vez tengamos que utilizar ordenadores cuánticos, que no computan con transistores de silicio sino con átomos individuales. Por el momento, estos ordenadores se encuentran a un nivel primitivo, pero en el próximo siglo puede que sean lo bastante potentes para manejar zettabytes de información.

SERES DE ENERGÍA FLOTANTES

Otra ventaja de utilizar ordenadores cuánticos para procesar esta montaña de datos es la oportunidad de crear seres de energía capaces de flotar en el aire, como aparecen con frecuencia en la ciencia ficción y la fantasía. Estos seres representarían la consciencia en su forma más pura. Al principio puede parecer que violan las leyes de la física, porque la luz nunca viaja por debajo de su velocidad.

En la década pasada, unos físicos de la Universidad de Harvard alcanzaron los titulares de prensa al anunciar que eran capaces de detener en seco un rayo de luz. Al parecer, estos físicos habían logrado lo imposible, reducir la velocidad de un rayo de luz a la de un paseo apacible hasta poder meterlo en una botella. Atrapar un rayo de luz en una botella no es tan fantástico como parece, si se mira con atención un vaso de agua. Cuando un rayo de luz penetra en el agua, su velocidad disminuye; y si entra en ángulo, el rayo se desvía. De manera similar, la luz se desvía al entrar en el vidrio, y esto es lo que hace posibles los telescopios y los microscopios. La teoría cuántica explica la

razón de todo esto.

Pensemos en el antiguo Pony Express, que en el siglo XIX llevaba el correo en el Oeste de Estados Unidos. Cada jinete podía ir a toda velocidad entre una posta y otra (las estaciones retransmisoras). Pero en cada estación de relevo se producía un retraso, porque había que descargar y cargar el correo, así como cambiar de caballo y de jinete. Esto reducía considerablemente la velocidad media del correo. De la misma manera, en el vacío entre átomos, la luz sigue viajando a la velocidad *c* (la velocidad de la luz), unos trescientos mil kilómetros por segundo. Pero cuando choca con átomos, la luz sufre un retraso: estos la absorben brevemente y después la reemiten, y la luz sigue su camino una fracción de segundo después. Este ligero retraso es responsable de que los rayos de luz parezcan ir más despacio cuando atraviesan un cristal o el agua.

Los científicos de Harvard aprovecharon este fenómeno, tomando un recipiente de gas y enfriándolo concienzudamente hasta cerca del cero absoluto. A esta temperatura tan baja, los átomos de gas absorbían el rayo de luz durante un período más largo de tiempo antes de reemitirlo. Así, aumentando este factor de retraso, pudieron frenar el rayo de luz hasta hacer que parara. El rayo seguía viajando a la velocidad de la luz entre un átomo y otro, pero cada vez perdía más tiempo al ser absorbido por ellos.

Esto plantea la posibilidad de que un ser consciente, en lugar de tomar el control de un cuerpo sustituto, prefiera seguir en forma de energía pura y vagar por el espacio, casi como un fantasma.

Así pues, en el futuro, cuando se envíen a las estrellas rayos láser que contengan nuestros conectomas, estos se podrían transferir a una nube de moléculas de gas y después atraparlos en una botella. Esta «botella de luz» es muy similar a un ordenador cuántico. Ambos tienen un conjunto de átomos vibrando al unísono, todos en fase unos con otros. Y los dos pueden llevar a cabo complicadas operaciones que están muy lejos de la capacidad de un ordenador corriente. Por lo tanto, si se puede resolver el problema de los ordenadores cuánticos, ello podría darnos también la capacidad de manipular estas «botellas de luz».

¿MÁS RÁPIDO QUE LA LUZ?

Vemos, pues, que todos los problemas son de ingeniería. No existe ninguna ley de la física que impida viajar en un rayo de energía el próximo siglo o el siguiente. Y tal vez sea este el modo más conveniente de visitar otros planetas y estrellas. En lugar de cabalgar en un rayo de luz, como soñaron los poetas, nos convertiremos en él.

Para darse perfecta cuenta de la visión expresada en el relato de Asimov, tenemos que preguntarnos si verdaderamente es posible el viaje intergaláctico a velocidades superiores a la de la luz. En su relato, seres de inmenso poder se mueven libremente entre galaxias separadas por millones

de años luz.

¿Es esto posible? Para dar una respuesta, tenemos que forzar los límites mismos de la moderna física cuántica. En un caso extremo, unas cosas llamadas «agujeros de gusano» pueden proporcionar atajos a través de la inmensidad del espacio y el tiempo. Y unos seres hechos de energía pura, y no de materia, tendrían una ventaja decisiva para pasar a través de ellos.

En cierto sentido, Einstein es como el policía del barrio, que nos dice que no podemos ir más deprisa que la luz, la velocidad definitiva del universo. Atravesar la galaxia que llamamos Vía Láctea, por ejemplo, tardaría cien mil años, aun viajando en un rayo láser. Aunque para el viajero solo ha transcurrido un instante, el tiempo en el planeta de origen ha avanzado cien mil años. Y pasar de unas galaxias a otras implica recorrer millones o miles de millones de años luz.

Pero el propio Einstein dejó una puerta abierta en su obra. En su teoría general de la relatividad de 1915 demostró que la gravedad es consecuencia de la distorsión del espacio-tiempo. La gravedad no es un «tirón» de una fuerza misteriosa e invisible, como pensaba Newton, sino un «empujón» causado por la curvatura del espacio mismo alrededor de un objeto. Esto no solo explicaba de manera brillante la curvatura de la luz de las estrellas al pasar cerca de otras y la expansión del universo, también dejaba abierta la posibilidad de que la trama del espaciotiempo se estire hasta desgarrarse.

En 1935, Einstein y su alumno Nathan Rosen introdujeron la posibilidad de que dos agujeros negros se unieran espalda con espalda, como hermanos siameses, de manera que si caemos en uno podríamos, en principio, salir por el otro. (Supongamos que unimos dos embudos por los extremos. El agua que entra por uno sale por el otro.) Este «agujero de gusano», también llamado «puente de Einstein-Rosen», introduce la posibilidad de portales entre universos. El mismo Einstein descartó que podamos pasar a través del agujero negro, ya que quedaríamos aplastados en el proceso, pero varios avances posteriores han planteado la probabilidad de viajar más deprisa que la luz a través de un agujero de gusano.

Primero, en 1963, el matemático Roy Kerr descubrió que un agujero negro giratorio no se colapsa hasta reducirse a un punto, como antes se pensaba, sino que forma un anillo que gira con tanta velocidad que las fuerzas centrífugas impiden que se colapse. Si caemos a través del anillo, podríamos pasar a otro universo. Las fuerzas gravitatorias serían inmensas, pero no infinitas. Sería como el espejo de Alicia: podríamos meter la mano en él y entrar en un universo paralelo. El marco del espejo sería el anillo que forma el agujero negro mismo. Desde el descubrimiento de Kerr, decenas de otras soluciones a las ecuaciones de Einstein han demostrado que, en principio, se podría pasar de un universo a otro sin ser aplastado inmediatamente. Dado que todos los agujeros negros observados hasta ahora en el espacio están girando a gran velocidad (alguno de ellos a 1.600.000 kilómetros por hora), significa que estos portales cósmicos podrían ser una cosa corriente.

En 1988, el doctor Kip Thorne, físico de Cal Tech, y sus colaboradores demostraron que con suficiente «energía negativa» sería posible estabilizar el agujero negro para que el agujero de gusano

se volviera «atravesable» (es decir, se podría pasar por él en las dos direcciones sin ser aplastado). La energía negativa es tal vez el componente más exótico del universo, pero existe de verdad y se puede crear (en cantidades minúsculas) en el laboratorio.

Este es pues el nuevo paradigma. Primero una civilización avanzada concentrará suficiente energía positiva en un punto, creando algo comparable a un agujero negro, para abrir un agujero en el espacio que conecte dos puntos distantes. Después acumulará suficiente energía negativa para mantener el portal abierto, de modo que permanezca estable y no se cierre en el instante de entrar en él.

Ahora podemos poner esta idea en el contexto adecuado. Trazar un mapa completo de todo el conectoma humano debería ser posible a finales de este siglo. A principios de la centuria siguiente se podría establecer una red interplanetaria de estaciones láser para transmitir conciencias por todo el sistema solar. No se necesitarían nuevas leyes de la física. Seguramente habría que esperar un siglo más para tener una red láser extendida hasta las estrellas. Pero una civilización capaz de jugar con los agujeros de gusano necesitaría una tecnología miles de años más avanzada que la nuestra, que forzaría los límites de la física conocida.

Todo esto tiene implicaciones directas en la cuestión de si la conciencia puede pasar de un universo a otro. Si la materia se acerca a un agujero negro, la gravedad se hace tan intensa que nuestro cuerpo quedaría como un espagueti. La gravedad que tira de nuestras piernas es más fuerte que la que tira de la cabeza, de modo que nuestro cuerpo se estiraría a causa de esas fuerzas mareales. Es más, a medida que nos acercamos al agujero negro, hasta los átomos de nuestro cuerpo se estiran hasta que los electrones se separan del núcleo, desintegrándolos.

(Para ver el poder de las fuerzas mareales, solo hay que fijarse en las mareas de la Tierra y los anillos de Saturno. La gravedad de la Luna y el Sol ejerce un tirón sobre la Tierra, haciendo que los océanos se eleven hasta varios metros en la pleamar. Y si una luna se acerca demasiado a un planeta gigante como Saturno, las fuerzas mareales la estirarán y acabarán rompiéndola. La distancia a la que los satélites se rompen por efecto de las fuerzas mareales se llama «límite de Roche». Los anillos de Saturno están exactamente en ese límite, por lo que es muy posible que se hayan formado a partir de una luna que se acercó demasiado al planeta madre.)

Incluso si entráramos en un agujero negro giratorio y utilizáramos energía negativa para estabilizarlo, los campos gravitatorios todavía podrían ser tan fuertes como para «espaguetificarnos».

Pero aquí es donde los rayos láser tienen una importante ventaja sobre la materia cuando se trata de pasar a través de un agujero de gusano. La luz láser es inmaterial, de modo que las fuerzas mareales no pueden estirarla cuando pasa cerca de un agujero negro. Esta experimenta un «desplazamiento hacia el azul»; es decir, gana energía y su frecuencia aumenta. Aunque el rayo láser se distorsione, la información almacenada en él queda intacta. Por ejemplo, un mensaje en código morse transmitido

por un rayo láser se comprimiría, pero la información que contiene permanecería inalterada. Las fuerzas mareales no alteran la información digital. Así pues, las fuerzas gravitatorias, que pueden ser fatales para los seres hechos de materia, podrían ser inofensivas para aquellos que viajan en rayos de luz. Por lo tanto, la conciencia transmitida por un rayo láser, al ser inmaterial, tiene una ventaja decisiva sobre la materia cuando se trata de pasar a través de un agujero de gusano.

Los rayos láser tienen otra ventaja sobre la materia cuando pasan por un agujero de gusano. Varios físicos han calculado que sería más fácil crear un agujero de gusano microscópico, tal vez del tamaño de un átomo. La materia no podría pasar por un agujero tan pequeño, pero los láseres y rayos X, cuya longitud de onda es más corta que un átomo, tal vez podrían atravesarlo sin dificultad.

Aunque el ingenioso relato de Asimov era claramente una fantasía, lo gracioso es que ya podría existir en la galaxia una vasta red interestelar de estaciones láser, pero somos tan primitivos que no nos damos cuenta. Para una civilización miles de años más avanzada que la nuestra, la tecnología necesaria para digitalizar su conectoma y enviarlo a las estrellas sería un juego de niños. En tal caso, es concebible que ya existan seres inteligentes que estén transmitiendo sus conciencias por toda la galaxia en una vasta red de rayos láser. Nada de lo que observamos con nuestros telescopios y satélites más avanzados nos permite detectar una red intergaláctica semejante.

En cierta ocasión, Carl Sagan se lamentaba de que era posible que viviéramos en un mundo rodeado por civilizaciones extraterrestres y careciéramos de la tecnología necesaria para verlo. La siguiente pregunta sería: ¿qué se oculta en la mente extraterrestre?

Si nos encontráramos con una de esas civilizaciones avanzadas, ¿qué clase de conciencia tendría? Algún día el destino de la especie humana puede depender de la respuesta a esta pregunta.

14

La mente extraterrestre

> A veces pienso que la señal más segura de que en algún lugar del universo existe vida inteligente es que ninguno de ellos ha intentado establecer contacto con nosotros.
>
> BILL WATTERSON

> Puede que exista vida inteligente en el espacio y puede que no. Las dos posibilidades dan miedo.
>
> ARTHUR C. CLARKE

En *La guerra de los mundos*, de H. G. Wells, los habitantes de Marte atacan la Tierra porque su planeta natal está muriendo. Armados con rayos mortíferos y gigantescas máquinas andantes, reducen rápidamente a cenizas muchas ciudades y están a punto de tomar el control de las principales capitales de la Tierra. Y justo cuando los marcianos están aplastando toda señal de resistencia y nuestra civilización va a ser reducida a escombros, se detienen de repente. A pesar de lo avanzado de su ciencia y su armamento, no habían previsto el ataque de nuestras más humildes criaturas: los microbios.

Aquella novela creó todo un género, inspirando miles de películas como *La Tierra contra los platillos voladores* e *Independence Day*. Pero la mayoría de los científicos se horroriza al ver cómo se describe a los extraterrestres. En muchas películas son seres con cierto sentido de los valores y emociones humanos. Aun con su piel verde brillante y sus cabezotas, se parecen a nosotros en cierta medida. También tienden a hablar un inglés perfecto.

Pero, como han señalado muchos científicos, puede que tengamos mucho más en común con una langosta o con una babosa de mar que con un extraterrestre.

Como ocurre con la conciencia de silicio, lo más probable es que la conciencia extraterrestre tenga los rasgos generales que se describen en nuestra teoría del espaciotiempo; es decir, la capacidad de

desarrollar un modelo del mundo y después conjeturar cómo evolucionará en el tiempo con el fin de lograr un objetivo. Pero mientras que los robots se pueden programar para que establezcan lazos emocionales con los humanos y tengan objetivos compatibles con los nuestros, la conciencia extraterrestre puede no ser así. Es probable que tenga su propio conjunto de valores y objetivos, independientes de los de la humanidad. Solo podemos especular cuáles podrían ser.

El doctor Freeman Dyson, físico del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, fue uno de los asesores de la película *2001: Una odisea del espacio*. Cuando vio por fin la película, quedó encantado, no por sus deslumbrantes efectos especiales, sino porque era la primera película de Hollywood que presentaba una conciencia extraterrestre con deseos, objetivos e intenciones totalmente extraños para nosotros. Por primera vez, los extraterrestres no eran simples actores humanos gesticulando, intentando parecer amenazadores con sus chabacanos disfraces de monstruos. Por el contrario, la conciencia extraterrestre se presentaba como algo totalmente ajeno a la experiencia humana, por completo fuera de nuestra comprensión.

La diferencia está en las emociones y los objetivos. En 2011, Stephen Hawking planteó otra pregunta. El famoso cosmólogo causó sensación cuando dijo que deberíamos estar preparados para un posible ataque extraterrestre. Dijo que si alguna vez nos encontramos con una civilización extraterrestre, esta será más avanzada que la nuestra y representará un peligro mortal para nuestra existencia.

Solo tenemos que ver lo que les ocurrió a los aztecas cuando se encontraron con los sanguinarios piratas conquistadores de Hernán Cortés para imaginar lo que podría ocurrir tras ese funesto encuentro. Armada con una tecnología que los aztecas de la Edad del Bronce jamás habían visto, como espadas de hierro, pólvora y caballos, aquella pequeña banda de degolladores pudo aplastar la antigua civilización azteca en cuestión de meses en 1521.

Todo esto plantea varias preguntas: ¿cómo será la conciencia extraterrestre? ¿en qué se diferenciarán sus procesos de pensamiento y sus objetivos de los nuestros? ¿qué querrán?

PRIMER CONTACTO EN ESTE SIGLO

Esta no es una cuestión académica. Dados los notables avances de la astrofísica, es posible que establezcamos contacto con una inteligencia extraterrestre en las próximas décadas. Cómo respondamos a ella podría determinar uno de los acontecimientos más cruciales de la historia humana.

Varios avances están haciendo posible ese día.

En 2011, el satélite *Kepler*, por primera vez en la historia, proporcionó a los científicos un «censo» de la Vía Láctea. Después de analizar la luz de miles de estrellas, descubrió que una de cada

doscientas podría tener un planeta semejante a la Tierra en la zona habitable. Por primera vez podemos calcular cuántas estrellas de la Vía Láctea podrían tener un planeta como el nuestro: aproximadamente mil millones. Cuando miramos las estrellas lejanas, tenemos buenos motivos para preguntarnos si alguien nos está devolviendo la mirada.

Hasta ahora se han analizado con detalle más de mil exoplanetas con telescopios terrestres (los astrónomos los están encontrando a razón de dos por semana).[1] Por desgracia, casi todos ellos son planetas del tamaño de Júpiter, probablemente carentes de vida como la nuestra, pero existe un puñado de «súper Tierras», planetas rocosos unas cuantas veces más grandes que el nuestro. El satélite *Kepler* ha identificado ya unos dos mil quinientos posibles exoplanetas en el espacio, algunos de los cuales se parecen mucho a la Tierra. Estos están a la distancia adecuada de sus estrellas madres, por lo que pueden existir en ellos océanos líquidos. Y el agua líquida es el «solvente universal» que disuelve casi todas las sustancias orgánicas, como el ADN y las proteínas.

En 2013, los científicos de la NASA anunciaron el descubrimiento más espectacular del satélite *Kepler*: dos exoplanetas que son casi iguales a la Tierra.[2] Se encuentran a mil doscientos años luz de distancia, en la constelación de Lyra. Son solo un 60 por ciento y un 40 por ciento más grandes que la Tierra. Lo más importante es que los dos están en la zona habitable de su estrella madre, así que es posible que tengan océanos líquidos. De todos los planetas estudiados hasta ahora, son los que tienen más probabilidades de parecerse a la Tierra.

Además, el telescopio espacial *Hubble* nos ha dado un cálculo aproximado del número total de galaxias en el universo visible: cien mil millones. Por lo tanto, podemos calcular el número de planetas como la Tierra en el universo visible: mil millones multiplicado por cien mil millones, un trillón de planetas parecidos al nuestro.

Es una cifra verdaderamente astronómica, así que las posibilidades de que exista vida en el universo son infinitamente grandes, sobre todo si se considera que el universo tiene 13.800 millones de años de edad y ha habido tiempo de sobra para que surjan —y tal vez caigan— imperios inteligentes. De hecho, lo milagroso sería que *no* existiera otra civilización avanzada.

EL SETI Y LAS CIVILIZACIONES EXTRATERRESTRES

En segundo lugar, la tecnología de los radiotelescopios está cada vez más perfeccionada. Hasta ahora solo se han examinado con atención unas mil estrellas en busca de señales de vida inteligente, pero en la próxima década este número podría multiplicarse por un millón.

El uso de radiotelescopios para buscar civilizaciones extraterrestres se remonta a 1960, cuando el astrónomo Frank Drake puso en marcha el proyecto Ozma (en alusión a la reina de Oz), utilizando el radiotelescopio de veinticinco metros de Green Bank (Virginia occidental). Esto marcó el nacimiento

del proyecto SETI (Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre, por sus siglas en inglés: *Search for Extraterrestrial Intelligence*). Por desgracia, no se captaron señales de alienígenas, pero en 1971 la NASA propuso el Proyecto Cyclops, que se suponía que tendría mil quinientos radiotelescopios, con un coste de diez mil millones de dólares.

No sorprende que se quedara en nada. Al Congreso no le hizo gracia la idea.

Sí se asignaron fondos para una propuesta mucho más modesta: enviar en 1971 un mensaje cuidadosamente codificado a los extraterrestres. El mensaje, que contenía 1.679 bits de información, se transmitió por medio del gigantesco radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico), hacia el Cúmulo Globular M13, a unos 25.100 años luz de distancia. Era la primera tarjeta de visita cósmica del mundo y contenía información relevante acerca de la especie humana. Pero no se recibió ningún mensaje de respuesta. O bien no impresionamos a los extraterrestres, o bien la velocidad de la luz interfirió. Dadas las enormes distancias implicadas, la fecha más temprana para un mensaje de respuesta sería dentro de 52.174 años.

Desde entonces algunos científicos han expresado sus recelos acerca de anunciar nuestra existencia a los extraterrestres, al menos hasta que conozcamos sus intenciones hacia nosotros. No están de acuerdo con los impulsores del Proyecto METI (Mensajes a la Inteligencia Extraterrestre, por sus siglas en inglés: *Messaging to Extraterrestrial Intelligence*), que defienden activamente el envío de señales a las civilizaciones del espacio. El razonamiento en que se basa el Proyecto METI es que la Tierra ya está enviando al espacio enormes cantidades de señales de radio y televisión, de modo que unos cuantos mensajes más no representarán una gran diferencia. Pero sus críticos creen que no deberíamos aumentar innecesariamente la posibilidad de ser descubiertos por extraterrestres potencialmente hostiles.

En 1995, los astrónomos recurrieron a fuentes privadas para fundar el Instituto SETI en Mountain View (California), con el fin de centralizar e iniciar el Proyecto Phoenix, que se propone estudiar mil estrellas cercanas parecidas al Sol, en la franja de radio de mil doscientos a tres mil megahertzios. El equipo es tan sensible que puede captar las emisiones del sistema de radar de un aeropuerto a doscientos años luz de distancia. Desde su fundación, el Instituto SETI ha inspeccionado más de mil estrellas, con un coste de cinco millones de dólares al año, pero aún no ha habido suerte.

Un enfoque más novedoso es el proyecto SETI@home, emprendido en 1999 por los astrónomos de la Universidad de California en Berkeley, que utiliza un ejército informal de millones de internautas aficionados. Cualquiera puede incorporarse a esta histórica cacería. Mientras dormimos por la noche, el salvapantallas desmenuza algunos de los datos que llegan desde el radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico. Hasta ahora se han apuntado 5,2 millones de usuarios de ordenador en doscientos treinta y cuatro países; es posible que estos aficionados sueñen con que serán los primeros en establecer contacto con la vida extraterrestre. Su nombre puede pasar a la historia como el de Cristóbal Colón. El proyecto SETI@home ha crecido con tanta rapidez que ya es el mayor de este

tipo emprendido en la historia.

Cuando entrevisté al doctor Dan Wertheimer, director de SETI@home, le pregunté cómo pueden distinguir los mensajes falsos de los auténticos.[3] Me respondió algo que me sorprendió. Me dijo que ellos mismos «plantan» a veces deliberadamente falsas señales en los datos de los radiotelescopios, como si provinieran de una imaginaria civilización extraterrestre. Si nadie capta estas falsas señales, saben que algo va mal en su software. La lección de esto es que si tu ordenador te dice que ha descifrado un mensaje de una civilización alienígena, no llames inmediatamente a la policía ni al presidente de Estados Unidos. Podría ser falso.

CAZADORES DE EXTRATERRESTRES

Un colega mío que ha dedicado su vida a buscar vida inteligente en el espacio es el doctor Seth Shostak, director del Instituto SETI. Dado su doctorado en física por el Instituto de Tecnología de California (Caltech), yo podía haber esperado que se hubiera convertido en un eminente profesor de física y que se dedicara a dar clases a entusiastas estudiantes de doctorado, pero en cambio dedica su tiempo a actividades muy diferentes: pedir donaciones para el Instituto SETI a personas ricas, escudriñar posibles señales del espacio exterior y hacer un programa de radio. Una vez le pregunté por el «factor risitas»: ¿se ríen los otros científicos cuando les dice que escucha a los seres del espacio? Ya no, asegura. Con los nuevos descubrimientos de la astronomía, las tornas han cambiado.[4]

De hecho, incluso presume y dice llanamente que en un futuro próximo establecerá contacto con una civilización extraterrestre. Hay constancia de que declaró que el Complejo de Telescopios Allen (ATA), con sus trescientas cincuenta antenas, «encontrará una señal antes de 2025».[5]

¿No es eso un poco arriesgado?, le pregunté. ¿Qué le hacía estar tan seguro? Un factor que ha actuado a su favor ha sido el boom reciente de los radiotelescopios. Aunque el gobierno de Estados Unidos no financia este proyecto, el Instituto SETI encontró hace poco un filón al convencer a Paul Allen (el multimillonario de Microsoft) de que donara más de treinta millones de dólares para construir el Complejo de Telescopios Allen en Hat Creek (California), a cuatrocientos cincuenta kilómetros al norte de San Francisco. En la actualidad puede escudriñar los cielos con cuarenta y dos radiotelescopios, y confían en llegar a los trescientos cincuenta. (Un problema es la falta crónica de financiación para estos experimentos. Para hacer frente a los recortes de presupuesto, las instalaciones de Hat Creek se mantienen gracias a la financiación parcial del ejército.)

El doctor Shostak me confesó que hay una cosa que le preocupa: que la gente confunda el Proyecto SETI con los cazadores de ovnis. El primero, afirma, está basado en la física y la astronomía más sólidas, y utiliza lo último en tecnología. Los segundos, en cambio, basan sus teorías en rumores y evidencias anecdóticas, que pueden contener o no algo de verdad. El problema es que la cantidad

masiva de avistamientos de ovnis que le llegan por correo no es repetible ni comprobable. Exige a todos los que aseguran haber sido abducidos por extraterrestres en platillos volantes que roben algo —una pluma o un pisapapeles alienígena, por ejemplo— para demostrarlo. Nunca salgas de un ovni con las manos vacías, me dijo.

También había llegado a la conclusión de que no existe ninguna prueba sólida de que los extraterrestres hayan visitado nuestro planeta. Entonces le pregunté si pensaba que el gobierno de Estados Unidos estaba ocultando deliberadamente evidencias de un encuentro con extraterrestres, como creen muchos teóricos de la conspiración. Me respondió: «¿De verdad crees que serían tan eficientes ocultando algo tan gordo? Recuerda que es el mismo gobierno el que gestiona el servicio de correos».[6]

LA ECUACIÓN DE DRAKE

Cuando le pregunté al doctor Wertheimer por qué está tan seguro de que existe vida inteligente en el espacio exterior, me respondió que los números están a su favor. En 1961, el astrónomo Frank Drake intentó calcular el número de estas civilizaciones inteligentes haciendo suposiciones plausibles. Si empezamos con cien mil millones, que es el número de estrellas en la Vía Láctea, podremos calcular cuántas de ellas son similares a nuestro sol. Podemos reducir más ese número calculando la fracción que tiene planetas, la que tiene planetas como la Tierra, etcétera. Tras hacer una serie de suposiciones razonables, nos sale una estimación de diez mil civilizaciones avanzadas, solo en nuestra galaxia, la Vía Láctea. (Carl Sagan, con un conjunto diferente de cálculos, obtuvo la cifra de un millón.)

Desde entonces los científicos han podido hacer estimaciones mucho mejores del número de civilizaciones avanzadas en nuestra galaxia. Por ejemplo, sabemos que alrededor de las estrellas hay más planetas en órbita de los que había esperado Drake, y también más que son parecidos a la Tierra. Pero todavía nos enfrentamos a un problema. Aunque supiéramos cuántos planetas como la Tierra hay en el espacio, aún no sabríamos en cuántos de ellos hay vida inteligente. En la propia Tierra, hubo que esperar cuatro mil quinientos millones de años a que unos seres inteligentes (nosotros) salieran por fin del fango. Han existido formas de vida en la Tierra desde hace unos tres mil quinientos millones de años, pero solo en los últimos cien mil años han aparecido seres inteligentes como nosotros. Así que incluso en un planeta tan «terrícola» como la Tierra misma, la aparición de vida inteligente ha sido muy difícil.

¿POR QUÉ NO NOS VISITAN?

Entonces le hice al doctor Seth Shostak la pregunta asesina: si existen tantas estrellas en la galaxia y tal número de civilizaciones extraterrestres, ¿por qué no nos visitan? Esta es la paradoja de Fermi, así llamada en honor de Enrico Fermi, Premio Nobel que ayudó a construir la bomba atómica y desentrañó los secretos del núcleo del átomo.

Se han propuesto muchas explicaciones. Para empezar, la distancia entre las estrellas podría ser demasiado grande. Nuestros cohetes químicos más potentes tardarían unos setenta mil años en llegar a las estrellas más próximas a la Tierra. Puede que una civilización que esté miles o millones de años más avanzada que la nuestra sea capaz de resolver este problema, pero existe otra posibilidad. Puede que se hayan aniquilado a sí mismos en una guerra nuclear. Como dijo en cierta ocasión John F. Kennedy, «Lamento decir que tiene mucho sentido el chiste que dice que la vida se extinguió en otros planetas porque sus científicos estaban más avanzados que los nuestros».

Pero tal vez la razón más lógica sea esta: imaginemos que vamos paseando por un camino rural y nos encontramos un hormiguero. ¿Nos agachamos para decirles a las hormigas «Hola, os traigo chucherías, os traigo cuentas, os traigo energía nuclear. Crearé para vosotros un paraíso hormiguil. Llevadme ante vuestro jefe»?

Probablemente, no.

Ahora imaginemos que unos obreros están construyendo una superautopista de ocho carriles al lado del hormiguero. ¿Sabrán las hormigas en qué frecuencia están hablando los obreros? ¿Sabrán siquiera qué es una superautopista de ocho carriles? Del mismo modo, cualquier civilización extraterrestre que sea capaz de llegar a la Tierra desde las estrellas tendría que estar miles o millones de años más avanzada que la nuestra, y puede que nosotros no tengamos nada que ofrecerles. En otras palabras, es una arrogancia creer que los alienígenas viajarán billones y billones de kilómetros solo para vernos.

Lo más probable es que no aparezcamos en sus pantallas de radar. Paradójicamente, la galaxia podría estar rebosante de formas de vida inteligentes, pero nosotros somos tan primitivos que ni siquiera nos damos cuenta.

PRIMER CONTACTO

Pero supongamos por un momento que llega el día, puede que más pronto que tarde, en que establecemos contacto con una civilización extraterrestre. Podría ser un punto de inflexión en la historia de la humanidad. Las siguientes preguntas son: ¿qué quieren y cómo será su consciencia?

En muchas películas y novelas de ciencia ficción los extraterrestres solo quieren devorarnos, conquistarnos, aparearse con nosotros o despojar nuestro planeta de recursos valiosos. Pero todo esto es sumamente improbable.

Probablemente, nuestro primer contacto con una civilización extraterrestre no comenzará con un platillo volante aterrizando en el césped de la Casa Blanca. Es mucho más probable que ocurra cuando algún adolescente conectado al Proyecto SETI@home anuncie que su ordenador ha descifrado señales del radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico). O cuando el proyecto SETI de Hal Creek detecte un mensaje que indique inteligencia.

Nuestro primer encuentro será, pues, una conversación unidireccional. Puede que captemos por casualidad mensajes inteligentes, pero nuestra respuesta podría tardar décadas o siglos en llegar a ellos.

Las conversaciones que oigamos en su radio pueden darnos una valiosa información sobre esta civilización extraterrestre. Pero lo más probable es que la mayor parte del mensaje sea cotilleo, entretenimiento, música, etcétera, con poco contenido científico.

Entonces le hice al doctor Shostak la siguiente pregunta clave: ¿mantendríais el secreto después del primer contacto? Al fin y al cabo, ¿no causaría pánico masivo, histeria religiosa, caos y evacuaciones espontáneas? Me quedé un poco sorprendido cuando me dijo que no. Les darían todos los datos a los gobiernos y pueblos del mundo.

Las siguientes preguntas son: ¿cómo serán?; ¿cómo piensan?

Para comprender la conciencia alienígena, tal vez resulte instructivo analizar otras completamente ajenas a la nuestra, las de los animales. Vivimos con ellos, pero ignoramos por completo lo que pasa en su mente.

A su vez, entender la conciencia animal podría ayudarnos a comprender la extraterrestre.

CONCIENCIA ANIMAL

¿Piensan los animales? Y si lo hacen, ¿en qué piensan? Esta cuestión ha intrigado a las mejores mentes de la historia durante miles de años. Tanto Plutarco como Plinio escribieron acerca de esta famosa cuestión que aún sigue sin resolverse.[7] A lo largo de los siglos, los gigantes de la filosofía han propuesto muchas soluciones.

Un perro va buscando a su amo y se encuentra con que el camino se ramifica en tres direcciones. Prueba primero el de la izquierda, olfatea y después vuelve atrás, sabiendo que su dueño no ha tomado ese camino. Elige entonces el de la derecha, olfatea y se da cuenta de que su amo tampoco ha ido por ese camino. Y entonces, con aire triunfal, el perro toma el camino del centro, esta vez sin olfatear.

¿Qué está pasando en la mente del perro? Varios de los más grandes filósofos se han planteado esta cuestión sin ningún resultado. El filósofo y ensayista francés Michel de Montaigne escribió que, evidentemente, el perro llega a la conclusión de que la única solución posible es tomar el camino

central, una conclusión que demuestra que es capaz de pensamiento abstracto.

Pero santo Tomás de Aquino, en el siglo XIII, dijo lo contrario: que la apariencia de pensamiento abstracto no equivale a auténtico pensamiento.[8] Podemos dejarnos engañar por apariencias superficiales de inteligencia, afirmó.[9]

Siglos después hubo una famosa controversia entre John Locke y George Berkeley acerca de la conciencia animal. «Los animales no hacen abstracciones», proclamó rotundamente Locke. A lo que el obispo Berkeley respondió: «Si el hecho de no hacer abstracciones se va a considerar una propiedad distintiva de esa clase de animal, me temo que muchos de los que pasan por hombres deberían incluirse en esa categoría».[10]

A lo largo de los tiempos los filósofos han tratado de analizar esta cuestión de la misma manera, imponiendo una conciencia humana al perro. Esta es la falacia del antropomorfismo, suponer que los animales piensan y se comportan como nosotros. Pero puede que la verdadera solución esté en considerar la cuestión desde el punto de vista del perro, que podría ser completamente diferente.

En el capítulo 2 di una definición de conciencia según la cual los animales formaban parte de un continuo. Ellos pueden diferir de nosotros en los parámetros que utilizan para crear un modelo del mundo. El doctor David Eagleman dice que los psicólogos llaman a esto «*umwelt*», la realidad percibida por otros animales, y comenta: «En el mundo ciego y sordo de la garrapata, las señales importantes son la temperatura y el olor a ácido butírico. Para el pez eléctrico *Apteronotus albifrons* (pez cuchillo o pez caballo), son los campos eléctricos. Para el murciélago, que se orienta por el eco, son las ondas que atraviesan el aire. Cada organismo habita en su propio *umwelt*, y es de suponer que esta es para él toda la realidad objetiva del mundo exterior».[11]

Consideremos el cerebro de un perro, un animal que vive inmerso en una vorágine de olores que le sirven para cazar, buscar comida o encontrar pareja. A partir de estos olores el perro traza un mapa mental de lo que existe en su entorno. Este mapa de olores es por completo diferente del que nosotros construimos con los ojos y transmite un conjunto de información totalmente distinto. (Recordemos que en el capítulo 1 el doctor Penfield elaboró un mapa de nuestra corteza cerebral, que mostraba una imagen distorsionada de nuestro cuerpo. Imaginemos ahora un diagrama de Penfield del cerebro de un perro. La mayor parte estaría dedicada a su hocico, no a sus dedos. Los animales tienen un diagrama de Penfield completamente diferente. Probablemente, el de los extraterrestres será aún más extraño.)

Lamentablemente, tendemos a asignar conciencia humana a los animales, a pesar de que deben tener una imagen del mundo por completo diferente. Por ejemplo, cuando un perro sigue fielmente las órdenes de su amo, suponemos de manera subconsciente que el perro es el mejor amigo del hombre porque le gustamos y nos respeta. Pero dado que el perro desciende del *Canis lupus* (el lobo gris), que caza en manadas con un rígido orden de jerarquía, es más que probable que nos vea como una especie de macho alfa, el jefe de la manada. En cierto sentido, somos el perro jefe.

(Probablemente, esta es una de las razones por las que los cachorros son mucho más fáciles de adiestrar que los perros viejos; es más fácil imprimir nuestra presencia en el cerebro de un cachorro, mientras que los animales maduros se dan cuenta de que los humanos no forman parte de su manada.)

Por otra parte, cuando un gato entra en una habitación nueva y orina sobre la alfombra, tendemos a suponer que está irritado o nervioso y procuramos encontrar el motivo por el que está molesto. Pero puede que simplemente esté marcando su territorio con el olor de su orina para mantener alejados a otros gatos. El animal, pues, no está molesto en absoluto; solo está advirtiendo a otros gatos que se queden fuera de la casa porque esta le pertenece a él.

Y si el gato ronronea y se frota contra nuestros pies, damos por supuesto que está agradecido por nuestros cuidados, y que es una señal de simpatía y cariño. Pero es más que probable que se esté refrotando para dejar en nosotros sus hormonas, reivindicando así su propiedad (es decir, nosotros) para que no se nos acerquen otros gatos. Desde su punto de vista, somos una especie de sirviente, adiestrado para darle comida varias veces al día, y al impregnarnos con su olor está advirtiendo a otros gatos de que se mantengan alejados.

Como dejó dicho el filósofo Michel de Montaigne en el siglo XVI: «Cuando juego con mi gata, ¿cómo sé que no es ella la que está jugando conmigo, en lugar de hacerlo yo con ella?».

Y si el gato nos deja para estar solo, no es una señal de enfado o de distanciamiento. El gato desciende del gato montés, que es un cazador solitario, a diferencia del perro. No existe un macho alfa al que rendir pleitesía, como ocurre con el perro. La proliferación en la tele de programas en los que se «habla» con diversos animales es probablemente un indicio de los problemas que encontramos cuando les atribuimos a estos conciencia e intenciones humanas.

Un murciélago tendrá una conciencia muy diferente, probablemente dominada por los sonidos. Casi ciego, necesita constantes respuestas a los chillidos que emite, que le permiten localizar insectos, obstáculos y otros murciélagos por medio de un sónar. El mapa de Penfield de su cerebro nos resultaría completamente extraño, con una enorme porción dedicada a los oídos. De manera similar, los delfines tienen una conciencia diferente de la humana, también basada en el sónar. Dado que tienen una corteza frontal más pequeña, en otro tiempo se creía que no eran tan inteligentes, pero compensan esto con una mayor masa cerebral. Si desplegamos la neocorteza del cerebro de un delfín, cubriría seis páginas de una revista, mientras que la de un ser humano solo ocuparía cuatro. Además, los delfines tienen muy bien desarrolladas las cortezas parietal y temporal para analizar las señales de sónar, y —probablemente debido a ello— son uno de los pocos animales capaces de reconocerse a sí mismos en un espejo.

Además, el cerebro del delfín está estructurado de manera diferente de la del humano, porque sus linajes divergieron hace unos noventa y cinco millones de años. Los delfines no tienen necesidad de nariz y su bulbo olfativo desaparece poco después del nacimiento. Pero hace treinta millones de años su corteza auditiva experimentó un crecimiento explosivo, porque los delfines aprendieron a utilizar

la ecolocalización o sónar para encontrar alimento. Su mundo, como el de los murciélagos, debe de ser una vorágine de ecos y vibraciones. En comparación con los humanos, los delfines tienen un lóbulo extra en el sistema límbico, la llamada «región paralímbica», que probablemente les ayuda a establecer fuertes relaciones sociales.

Por otra parte, los delfines tienen también un lenguaje que es inteligente. Una vez nadé en un estanque de delfines para un programa especial de televisión del Science Channel. Instalé en la piscina sensores de sónar que pudieran captar los chasquidos y silbidos empleados por los delfines para comunicarse unos con otros. Las señales quedaron registradas y fueron analizadas por un ordenador. Existe una manera sencilla de discernir si hay una inteligencia oculta entre este conjunto aparentemente aleatorio de chirridos y gorjeos. En inglés, por ejemplo, la letra «e» es la más utilizada. De hecho, se puede hacer una lista de todas las letras del alfabeto y las frecuencias con que aparecen. Sea cual sea el libro en inglés que le demos al ordenador para que lo analice, se ajustará muy aproximadamente a la lista de frecuencias de las letras.

De manera similar, se puede utilizar este programa de ordenador para analizar el lenguaje de los delfines. Y, efectivamente, encontramos un patrón similar que indica inteligencia. Pero cuando lo aplicamos a otros mamíferos, el patrón empieza a descomponerse, y acaba desapareciendo por completo al aproximarnos a animales con cerebros más pequeños. Entonces las señales son casi caóticas.

¿ABEJAS INTELIGENTES?

Para hacernos una idea de lo que podría ser la conciencia extraterrestre, consideremos las estrategias adoptadas por la naturaleza para reproducir la vida en la Tierra. Existen dos estrategias reproductivas básicas, con profundas implicaciones para la evolución y la conciencia.

La primera es la estrategia empleada por los mamíferos: producir un pequeño número de descendientes y cuidar a cada uno hasta la madurez. Es una estrategia arriesgada, porque en cada generación solo se producen unos pocos descendientes, pero se supone que los cuidados de los padres compensarán el riesgo. Esto significa que cada vida es preciosa, y se la criará con esmero durante mucho tiempo.

Pero existe otra estrategia mucho más antigua, que es la que emplean las plantas y gran parte del reino animal, incluyendo los insectos, los reptiles y casi todas las demás formas de vida. Consiste en producir un gran número de huevos o semillas y después dejar que se las apañen solos. Sin crianza, la mayor parte de la descendencia no sobrevive, y solo unos pocos individuos resistentes llegarán a producir la siguiente generación. La energía invertida por los padres en cada generación es nula y la reproducción se basa en la ley de probabilidades para propagar la especie.

Estas dos estrategias dan lugar a dos actitudes llamativamente diferentes acerca de la vida y la inteligencia. La primera atesora cada uno de los individuos. El amor, la crianza, el cariño y el apego son muy valorados en este grupo. Esta estrategia reproductiva solo puede funcionar si los padres invierten una considerable cantidad de preciosa energía en mantener a sus crías. En cambio, la segunda estrategia no valora en absoluto al individuo y lo que le interesa es la supervivencia de la especie o grupo en conjunto. Para ellos, la individualidad no significa nada.

Además, esto tiene profundas implicaciones para la evolución de la inteligencia. Cuando dos hormigas se encuentran intercambian una cantidad limitada de información por medio de compuestos químicos volátiles y gestos. Aunque lo que se transmiten es mínimo, con esa información son capaces de crear los complicados túneles y cámaras necesarios para construir un hormiguero. De manera similar, aunque las abejas se comunican ejecutando una danza, el colectivo puede construir complicadas colmenas y localizar flores lejanas. Así pues, su inteligencia no surge del individuo, sino de la interacción holística de toda la colonia y de sus genes.

Consideremos ahora una civilización extraterrestre basada en la segunda estrategia, como si fuera una raza de abejas inteligentes. En esta sociedad, las obreras que vuelan cada día en busca de polen son prescindibles. Estas no se reproducen y viven para un único propósito, servir a la colmena y a la reina, por las que se sacrifican de buena gana. Los lazos que unen a los mamíferos no significan nada para ellas.

En teoría, esto podría afectar al desarrollo de su programa espacial. Nosotros, que valoramos mucho la vida de cada astronauta, dedicamos considerables recursos a traerlos vivos de vuelta. Gran parte del coste del viaje espacial se dedica al mantenimiento de la vida, para que los astronautas puedan volver a entrar en la atmósfera y regresar a casa. Pero para una civilización de abejas inteligentes, la vida de una obrera no tendría mucha importancia y su programa espacial costaría muchísimo menos. Sus obreras no tendrían que regresar. Los viajes serían solo de ida, lo cual representaría un importante ahorro.

Ahora imaginemos que nos encontramos con un ser del espacio que fuera similar a una abeja obrera. Normalmente, si nos encontramos con una abeja en el bosque, lo más probable es que no nos haga ningún caso, a menos que la amenacemos a ella o a la colmena. Es como si no existiéramos. De manera similar, es muy probable que esta obrera extraterrestre no tenga el más mínimo interés en establecer contacto con nosotros o compartir su conocimiento. Seguiría adelante con su misión original, sin fijarse en nosotros. Además, los valores que a nosotros nos importan significarían poco para ella.

En la década de 1970 se incluyeron en las sondas espaciales *Pioneer 10* y *11* dos placas que contenían información básica sobre nuestro mundo y nuestra sociedad. En ellas se exaltaba la diversidad y abundancia de la vida en la Tierra. Los científicos de entonces suponían que las civilizaciones extraterrestres serían, como nosotros, curiosas e interesadas en hacer contacto. Pero si

una abeja obrera del espacio encontrara nuestra placa, lo más probable es que no significara nada para ella.

Además, las obreras individuales no necesitarían ser muy inteligentes. Solo tendrían que serlo lo suficiente para servir a los intereses de la colmena. Si enviáramos un mensaje a un planeta de abejas inteligentes, lo más probable es que no les interesara mucho enviar un mensaje de respuesta.

Aunque se pudiera establecer contacto con una civilización así, sería difícil comunicarse con ellos. Por ejemplo, cuando nosotros nos comunicamos con otras personas, descomponemos las ideas en frases, con una estructura sujeto-verbo, con el fin de construir una narración, a veces una historia personal. La mayoría de nuestras oraciones tienen la siguiente estructura: «Yo hice esto» o «Ellos hicieron aquello». De hecho, la mayor parte de nuestra literatura y de nuestras conversaciones usan la narrativa, y con frecuencia se relatan experiencias y aventuras que hemos tenido nosotros o nuestros modelos. Esto presupone que nuestras experiencias personales son la manera predominante de transmitir información.

Sin embargo, una civilización de abejas inteligentes podría no tener ningún interés en las narraciones personales ni en contar historias. Al ser tan colectivistas, sus mensajes podrían no ser personales, sino meros datos objetivos con información vital para la colmena, en lugar de trivialidades y cotilleos personales para mejorar su posición social. Incluso podría parecerles repulsivo nuestro lenguaje narrativo, ya que pone al individuo por delante de las necesidades del colectivo.

Además, las abejas obreras tendrían un sentido del tiempo completamente diferente. Como son prescindibles, puede que no tuvieran una vida muy larga, y solo emprenderían proyectos de corta duración y bien definidos.

Los humanos vivimos mucho más, pero también tenemos un sentido tácito del tiempo: emprendemos proyectos y trabajos que parece razonable que podamos ver terminados en vida. Subconscientemente, marcamos el ritmo de nuestros proyectos, nuestras relaciones con otros y nuestros objetivos para acomodarlos a una vida de duración finita. En otras palabras, vivimos en fases sucesivas: la vida de solteros, la de casados, la crianza de los hijos y, con el tiempo, la jubilación. Muchas veces sin ser conscientes de ello, suponemos que viviremos y al final moriremos dentro de un marco temporal finito.

Pero imaginemos unos seres que puedan vivir miles de años, o que incluso sean inmortales. Sus prioridades, sus objetivos y sus ambiciones serían completamente diferentes. Podrían emprender proyectos que ocuparían decenas de vidas humanas. Muchas veces se descarta el viaje interestelar como pura ciencia ficción porque, como hemos visto, el tiempo necesario para que un cohete convencional llegue a las estrellas más próximas es de unos setenta mil años. Para nosotros es un período prohibitivamente largo. Pero para una forma de vida extraterrestre, ese tiempo podría ser totalmente irrelevante. Por ejemplo, tal vez podrían hibernar, frenar su metabolismo o simplemente

vivir por tiempo indefinido.

¿QUÉ ASPECTO TENDRÁN?

Probablemente nuestras primeras traducciones de estos mensajes extraterrestres nos darían alguna idea sobre su cultura y modo de vida. Por ejemplo, es probable que los extraterrestres hayan evolucionado a partir de depredadores y, por lo tanto, compartan algunas de sus características. (En general, los depredadores de la Tierra son más inteligentes que las presas. Los animales cazadores, como tigres, leones, gatos y perros, utilizan su astucia para acechar, tender emboscadas y esconderse, actividades que requieren inteligencia. Todos estos depredadores tienen ojos en la parte delantera de la cabeza, con visión estereoscópica cuando enfocan su atención. Las presas, que tienen ojos a los lados de la cabeza para detectar a los depredadores, solo tienen que correr. Por eso decimos «astuto como un zorro» y «tonto como un conejo».) Puede que las formas de vida extraterrestres hayan superado algunos de los instintos depredadores de sus lejanos antepasados, pero es probable que conserven parte de la conciencia de estos (por ejemplo, la territorialidad, la expansión y la violencia cuando sea necesario).

Si examinamos la especie humana, vemos que hay por lo menos tres ingredientes básicos que abrieron el camino a la evolución de nuestra inteligencia.

- El pulgar oponible, que nos da la capacidad de manipular y modificar nuestro entorno por medio de instrumentos.
- Los ojos estereoscópicos, que nos permiten la visión tridimensional de un cazador.
- El lenguaje, que nos permite acumular conocimiento, cultura y sabiduría generación tras generación.

Si comparamos estos tres ingredientes con los rasgos que se pueden encontrar en el reino animal, veremos que muy pocos animales cumplen estos requisitos para la inteligencia. Los gatos y los perros, por ejemplo, no tienen capacidad de manipulación ni un lenguaje complejo. Los pulpos tienen tentáculos sofisticados, pero no ven bien y tampoco han desarrollado un lenguaje complejo.

Pueden darse variaciones de estos tres criterios. En lugar de un pulgar oponible, los extraterrestres pueden tener pinzas o tentáculos (la única condición es que tienen que ser capaces de manipular su entorno con utensilios creados con estos apéndices). En lugar de tener dos ojos, podrían tener muchos más, como los insectos. O podrían tener sensores que detectaran ondas de sonido o ultravioletas, en lugar de la luz visible. Es más que probable que tengan los ojos estereoscópicos de un cazador, porque en general los depredadores tienen un nivel de inteligencia superior al de sus

presas. Además, en lugar de un lenguaje basado en sonidos, podrían comunicarse mediante diferentes tipos de vibraciones. El único requisito es que intercambien información entre ellos para crear una cultura que se prolongue durante muchas generaciones.

Pero aparte de estos criterios, cualquier cosa es posible.

Por otro lado, los extraterrestres pueden tener una conciencia matizada por su entorno. Ahora los astrónomos se están dando cuenta de que el hábitat más acogedor para la vida en el universo podrían no ser los planetas como la Tierra, donde uno puede confortarse a la cálida luz de la estrella madre, sino los satélites helados que orbitan en torno a planetas del tamaño de Júpiter, a miles de millones de kilómetros de la estrella. Muchos están convencidos de que Europa, una luna de Júpiter cubierta de hielo, tiene un océano líquido bajo la superficie helada, calentado por fuerzas mareales. Dado que Europa se bambolea al orbitar alrededor de Júpiter, es presionado en diferentes direcciones por la enorme fuerza gravitatoria de este, lo que produce fricciones en las profundidades del satélite. Esto genera calor, que forma volcanes y chimeneas marinas que funden el hielo y crean océanos líquidos. Se calcula que los océanos de Europa son muy profundos, y que su volumen puede ser muchas veces mayor que el que tienen los de la Tierra. Dado que el 50 por ciento de las estrellas pueden tener planetas del tamaño de Júpiter (son mucho más abundantes que los que son como la Tierra), la mayor posibilidad de vida podría estar en las lunas heladas de gigantes gaseosos como Júpiter.

Por lo tanto, cuando encontremos la primera civilización extraterrestre, es más que probable que tenga origen acuático. (También es probable que hayan emigrado del mar y aprendido a vivir en la superficie helada de su satélite, lejos del agua, por varias razones. En primer lugar, una especie que viva perpetuamente bajo el hielo tendrá una visión del universo muy limitada. Nunca desarrollarán una astronomía ni un programa espacial si creen que todo el universo es el océano bajo la cubierta de hielo. En segundo lugar, como el agua cortocircuita los componentes eléctricos, nunca desarrollarán la radio o la televisión si se quedan bajo ella. Para que esta civilización avance tiene que dominar la electrónica, que no puede darse en los océanos. Así pues, lo más probable es que estos alienígenas hayan aprendido a salir del mar y vivir en la tierra, como hicimos nosotros.)

Pero ¿qué ocurre si esta forma de vida evoluciona hasta crear una civilización capaz de viajar por el espacio y llegar hasta la Tierra? ¿Seguirán siendo organismos biológicos como nosotros, o serán posbiológicos?

LA ERA POSBIOLÓGICA

Una persona que ha pasado mucho tiempo pensando en estas cuestiones es mi colega, el doctor Paul Davies, de la Universidad del Estado de Arizona, cerca de Phoenix. Cuando le entrevisté, me dijo que tenemos que expandir nuestro horizonte para imaginar cómo podría ser una civilización que esté

miles de años más avanzada que la nuestra.[12]

Dados los peligros del viaje espacial, él cree que habrán abandonado su forma biológica, más o menos como las mentes incorpóreas de las que hablábamos en el capítulo anterior. Ha escrito lo siguiente: «Mi conclusión es inquietante. Creo muy probable —de hecho, inevitable— que la inteligencia biológica sea solo un fenómeno transitorio, una fase fugaz en la evolución de la inteligencia en el universo. Si alguna vez encontramos inteligencia extraterrestre, creo abrumadoramente probable que sea de naturaleza posbiológica, una conclusión que tiene ramificaciones obvias y de mucho alcance para el SETI».[13]

De hecho, si los extraterrestres están miles de años más avanzados que nosotros, es muy probable que hayan abandonado sus cuerpos biológicos hace muchísimo tiempo para crear el cuerpo informático más eficiente: un planeta con toda su superficie completamente cubierta de ordenadores. Según el doctor Davies, «no es difícil visualizar toda la superficie de un planeta cubierta por un solo sistema procesador integrado […] Ray Bradbury acuñó la expresión “cerebros matrioska” para estas impresionantes entidades».

Para él la conciencia extraterrestre puede perder el concepto del «yo» y ser absorbida por la Red Mundial de Mentes, que cubre toda la superficie de un planeta. El doctor Davies añade: «Una potente red informática sin sentido del yo tendría una enorme ventaja sobre la inteligencia humana, porque podría rediseñarse a sí misma, hacer cambios sin miedo, fundirse con sistemas enteros y crecer. Las sensaciones “personales” serían un claro impedimento para el progreso».

Así pues, en nombre de la eficiencia y la mayor capacidad procesadora, Davies imagina a los miembros de esta avanzada civilización renunciando a su identidad y siendo absorbidos en una conciencia colectiva.

El doctor Davies reconoce que a los críticos de esta idea el concepto puede resultarles bastante repulsivo. Parece que estuviéramos sacrificando nuestra individualidad y creatividad por el bien del colectivo o de la colmena. Esto no es inevitable, advierte, pero es la opción más eficiente para la civilización.

Además, tiene una conjetura que él mismo reconoce que es bastante deprimente. Cuando le pregunté por qué estas civilizaciones no nos visitan, me dio una extraña respuesta. Dijo que una civilización tan avanzada habrá desarrollado realidades virtuales mucho más interesantes y estimulantes que la realidad. La realidad virtual actual sería un juguete de niños en comparación con la que poseería una civilización miles de años más avanzada que la nuestra.

Esto significa que tal vez sus mejores mentes hayan decidido vivir existencias imaginarias en diferentes mundos virtuales. Es una idea poco animadora, reconoce Davies, pero desde luego es una posibilidad. De hecho, podría ser incluso una advertencia para cuando perfeccionemos la realidad virtual.

¿QUÉ QUIEREN?

En la película *Matrix* las máquinas toman el poder y meten a los humanos en receptáculos donde los explotan como pilas para aportar energía a sus aparatos. Para eso nos mantienen vivos. Pero como una sola central eléctrica produce más energía que los cuerpos de millones de humanos, cualquier extraterrestre que busque una fuente de energía se dará cuenta enseguida de que no hay necesidad de baterías humanas. (Esto parece que se les escapa a los tiranos informáticos de *Matrix*, pero es de esperar que los alienígenas sean más razonables.)

Otra posibilidad es que quieran comernos. Esto se especulaba en un episodio de *The Twilight Zone* (en español, *Dimensión desconocida* o *En los límites de la realidad*), en el que unos extraterrestres llegan a la Tierra y nos prometen todos los beneficios de su avanzada tecnología. Incluso piden voluntarios para visitar su hermoso planeta natal. Por descuido, los alienígenas se dejan olvidado un libro titulado *Servir al hombre*, que los científicos intentan descifrar ansiosamente, con el fin de averiguar qué maravillas van a compartir con nosotros los extraterrestres. Pero, al final, los científicos descubren que en realidad es un libro de cocina. (Aunque lo cierto es que, al ser nuestro ADN y nuestras proteínas completamente diferentes de los suyos, sus aparatos digestivos podrían tener dificultades para procesarnos.)

Otra posibilidad es que los extraterrestres quieran despojar la Tierra de recursos y minerales valiosos. Puede haber algo de verdad en este argumento, pero si los extraterrestres están lo bastante avanzados para viajar sin problemas desde las estrellas, tendrían muchísimos planetas deshabitados que saquear, sin tener que preocuparse por nativos levantiscos. Desde su punto de vista, sería una pérdida de tiempo intentar colonizar un planeta habitado cuando existen alternativas más fáciles.

Entonces, si los extraterrestres no quieren esclavizarnos ni saquear nuestros recursos, ¿qué peligro representan? Pensemos en un ciervo en un bosque. ¿A quién debería temer más, al feroz cazador armado con una escopeta o al apacible urbanizador armado con un plano? Aunque el cazador puede dar miedo al ciervo, solo unos pocos corren peligro por su causa. El urbanizador, en cambio, puede no pensar siquiera en los ciervos, concentrándose en transformar el bosque en una propiedad urbanizable. Teniendo esto en cuenta, ¿cómo sería una verdadera invasión?

En las películas de Hollywood hay un fallo estrepitoso: los extraterrestres solo están, aproximadamente, un siglo más avanzados que nosotros, de manera que por lo general somos capaces de idear un arma secreta o aprovechar una sencilla debilidad en su fortaleza para derrotarlos, como en *La Tierra contra los platillos voladores*. Pero, como me dijo una vez el doctor Seth Shostak, director del SETI, una guerra contra una civilización extraterrestre avanzada sería como una batalla entre Bambi y Godzilla.

En realidad, los alienígenas podrían estar milenios o millones de años más avanzados que nosotros

en cuestión de armamento y consumo de energía. De modo que, en términos generales, poco podríamos hacer para defendernos. Pero tal vez podamos aprender de los bárbaros que derrotaron al mayor imperio militar de su época, el Imperio romano.

Los romanos eran maestros de la ingeniería, capaces de crear armas que podían arrasar aldeas bárbaras enteras y de construir carreteras para aprovisionar a los puestos militares más lejanos del vasto imperio. Los bárbaros, que apenas estaban saliendo del modo de vida nómada, tenían pocas posibilidades cuando se toparon con la fuerza imparable del ejército imperial romano.

Pero la historia registra que, a medida que el imperio se expandía, se iba dispersando, con demasiadas batallas que librar, demasiados tratados que lo dejaban atascado y una economía insuficiente para mantener todo esto, sobre todo con el gradual declive de la población. Además, el imperio, siempre necesitado de reclutas, tuvo que alistar a jóvenes soldados bárbaros y ascenderlos a posiciones de mando. De manera inevitable, la tecnología superior del imperio se fue filtrando hacia los bárbaros. Con el tiempo, estos empezaron a dominar las mismas tecnologías militares que al principio los habían vencido.

Hacia el final, el imperio, debilitado por las intrigas palaciegas, las malas cosechas, las guerras civiles y el crecimiento desmesurado del ejército, tuvo que enfrentarse a los bárbaros, que consiguieron hacer retroceder al ejército romano. Los saqueos de Roma en 410 y 455 d.C. prepararon el camino para la caída definitiva del imperio en 476 d.C.

Del mismo modo, es probable que los terrícolas no ofrezcan al principio una resistencia efectiva a una invasión extraterrestre, pero con el tiempo podrían averiguar los puntos flacos del ejército enemigo, sus abastecimientos de energía, sus centros de mando y casi todo su armamento. Para poder controlar a la población humana, los alienígenas tendrían que reclutar colaboradores y ascenderlos. Esto también conduciría a una difusión de su tecnología entre los humanos.

Entonces, un ejército terrestre podría organizar un contraataque. En la estrategia militar oriental, como las enseñanzas clásicas de Sun Tzu en *El arte de la guerra*, hay una manera de derrotar a un ejército superior. Primero le dejas que penetre en tu territorio. Cuando ha entrado en terreno desconocido y sus filas están más dispersas, se puede contraatacar en los puntos más débiles.

Otra técnica consiste en utilizar la fuerza del enemigo contra él. En el yudo, la principal estrategia es aprovechar el impulso del adversario en tu favor. Dejas que el enemigo ataque y entonces lo zancadilleas o le haces caer aprovechando la propia masa y energía del contrario. Cuanto más grandes son, más dura es la caída. Del mismo modo, puede que la única manera de combatir a un ejército enemigo superior sea permitir que invada tu territorio, aprender sus secretos militares y de armamento, y volver contra ellos sus propias armas y secretos.

Así pues, a un ejército alienígena superior no se le puede derrotar en una lucha frente a frente. Pero puede que se retire si ve que no puede vencer y que el coste de un estancamiento es demasiado alto. El triunfo consiste en privar al enemigo de la victoria.

Pero yo creo que lo más probable es que sean benévolos y que, en gran medida, no nos presten atención. Simplemente no tenemos nada que ofrecerles. Si nos visitan, será principalmente por curiosidad o para hacer un reconocimiento. (Dado que la curiosidad fue un factor crucial en la evolución de nuestra inteligencia, es probable que las especies extraterrestres sean curiosas, y por eso quieran estudiarnos, pero no necesariamente para establecer contacto.)

EL ENCUENTRO CON UN ASTRONAUTA EXTRATERRESTRE

A diferencia de lo que ocurre en las películas, lo más probable es que no nos encontremos directamente con extraterrestres de carne y hueso. Sería demasiado peligroso, además de innecesario. Así como nosotros hemos enviado el Mars Rover a explorar Marte, lo más probable es que los extraterrestres envíen sustitutos o avatares orgánico-mecánicos, que podrían soportar mejor las penalidades del viaje interestelar. Así pues, los «extraterrestres» que recibiremos en el césped de la Casa Blanca pueden no parecerse en nada a sus amos que se quedaron en el planeta natal.

Pero lo más probable es que envíen antes una sonda robótica a nuestra luna, que es geológicamente estable, sin erosión. Estas sondas podrían autorreplicarse; es decir, montarían una fábrica y construirían mil copias de sí mismas (se las llama «sondas de Von Neumann», en honor del matemático John von Neumann, que estableció las bases de los ordenadores digitales. Fue el primer matemático que consideró en serio el problema de unas máquinas capaces de reproducirse). Estas sondas de segunda generación se enviarían a otros sistemas estelares, donde cada una fabricaría mil más de tercera generación, para llegar a un total de un millón. Las sondas se irían desperdigando y construyendo más fábricas, hasta que hubiera mil millones. Empezando con una sola sonda, después tenemos mil, un millón, mil millones… En cinco generaciones, tendríamos un trillón de sondas. Pronto habría una gigantesca esfera, expandiéndose casi a la velocidad de la luz, con billones y billones de sondas que colonizarían toda la galaxia en unos pocos cientos de miles de años.

El doctor Davies se toma tan en serio la idea de las sondas autorreplicantes de Von Neumann que ya ha solicitado fondos para investigar la superficie de la luna en busca de indicios de anteriores visitas de extraterrestres. Quiere escudriñarla en busca de emisiones de radio o anomalías de radiación que indicarían una visita extraterrestre, tal vez ocurrida hace millones de años.

En colaboración con el doctor Robert Wagner, Davies publicó un artículo en la revista científica *Acta Astronautica*, solicitando un examen minucioso de las fotos del satélite lunar Reconaissance Orbiter hasta llegar a una resolución de unos cuarenta y cinco centímetros.

En el artículo decían: «Aunque solo existe una minúscula probabilidad de que una tecnología extraterrestre haya dejado huellas en la luna, en forma de artefactos o de modificación superficial de los rasgos lunares, el sitio tiene la ventaja de estar cerca».[14] Además, las huellas de una tecnología

extraterrestre se conservarían durante largos períodos de tiempo. Dado que en la luna no hay erosión, las pisadas o rodadas de los extraterrestres seguirían siendo visibles, lo mismo que las huellas de nuestros astronautas de la década de 1970, que, en principio, podrían durar miles de millones de años.

Un problema es que la sonda de Von Neumann podría ser muy pequeña. Las nanosondas utilizan máquinas moleculares y sistemas microelectromecánicos (MEM), y podrían ser tan pequeños como una panera e incluso más, me dijo Davies. (De hecho, si una de estas sondas cayera en la Tierra, en el patio trasero de alguien, es posible que ni el dueño se enterara.)

Sin embargo, este método representa la manera más eficiente de colonizar la galaxia, utilizando el crecimiento exponencial de las sondas autorreplicantes de Von Neumann. (También es esta la manera en que un virus infecta nuestro cuerpo. Unos pocos caen sobre nuestras células, secuestran la maquinaria reproductora y transforman nuestras células en fábricas que crean más virus. En solo dos semanas, un solo virus puede infectar billones de células, hasta que estornudamos.)

Si esta hipótesis es correcta, nuestra luna es el sitio más probable para una visita de los extraterrestres. También es esta la base de la película *2001: Una odisea del espacio*, que todavía sigue presentando el tipo de encuentro más plausible con una civilización extraterrestre. En la película, una sonda se depositó en la luna hace millones de años, principalmente para observar la evolución de la vida en la Tierra. De vez en cuando interfiere con nuestra evolución y le da un impulso adicional. La información se envía a Júpiter, donde hay una estación retransmisora, y de ahí va al planeta natal de esta antigua civilización alienígena.

Desde el punto de vista de esta civilización tan avanzada, que puede supervisar al mismo tiempo miles de millones de sistemas solares, se ve que tienen mucho donde elegir en lo referente a qué sistemas planetarios colonizar. Dada la enormidad de la galaxia, pueden ir reuniendo datos y después decidir qué planetas o satélites ofrecen los mejores recursos. Es posible que la Tierra no les resultara muy atractiva.

15

Conclusiones

> Los imperios del futuro serán imperios de la mente.
>
> WINSTON CHURCHILL

> Si seguimos desarrollando nuestra tecnología sin sabiduría ni prudencia, nuestro sirviente puede acabar siendo nuestro verdugo.
>
> GENERAL OMAR BRADLEY

En el año 2000 estalló una acalorada controversia en la comunidad científica. Uno de los fundadores de Sun Computers, Bill Joy, escribió un incendiario artículo denunciando el peligro mortal de la tecnología avanzada. El artículo, publicado en la revista *Wired* con el provocador título de «El futuro no nos necesita», decía: «Nuestras tecnologías más potentes del siglo XXI —robótica, ingeniería genética y nanotecnología— amenazan con convertir a los humanos en una especie en peligro de extinción».[1] El virulento artículo ponía en tela de juicio la moralidad de cientos de afanosos científicos que juegan en sus laboratorios en la vanguardia de la ciencia. Criticaba el núcleo mismo de sus investigaciones, diciendo que los beneficios de estas tecnologías son muy inferiores a los enormes peligros que suponen para la humanidad.

Y describía una macabra distopía en la que todas nuestras tecnologías conspiran para destruir la civilización. Tres de nuestras principales creaciones acabarán volviéndose contra nosotros, advertía.

- Algún día, microbios modificados por ingeniería genética escaparán del laboratorio y harán estragos en el mundo. Dado que no se puede cancelar una forma de vida, podrían proliferar sin control y desencadenar una epidemia fatal en el planeta, peor que las de la Edad Media. La biotecnología podría alterar incluso la evolución humana, creando «varias especies separadas y desiguales […] que pondrían en peligro el concepto de igualdad que es la piedra angular de

nuestra democracia».[2]

- Algún día, los nanobots pueden descontrolarse y segregar cantidades ilimitadas de «moco gris» que cubrirá la Tierra, destruyendo toda la vida. Como «digieren» la materia normal y crean nuevos tipos de materia, los nanobots descontrolados podrían digerir gran parte de la Tierra. «Sin duda, la plaga gris sería un final deprimente para nuestra aventura humana en la Tierra, mucho peor que el fuego o el hielo, y podría surgir de un simple accidente de laboratorio», escribió Joy.
- Algún día, los robots tomarán el poder y sustituirán a la humanidad. Llegarán a ser tan inteligentes que simplemente nos apartarán a un lado. Quedaremos como una nota a pie de página en la historia de la evolución. «Los robots no serán en modo alguno nuestros hijos […] es muy posible que por este camino se pierda la humanidad.»

Joy aseguraba que los peligros planteados por estas tres tecnologías dejaban insignificantes los riesgos de la bomba atómica en la década de 1940. Ya entonces Einstein advirtió del poder de la tecnología nuclear para destruir la civilización: «Se ha hecho espantosamente obvio que nuestra tecnología ha superado a nuestra humanidad». Pero la bomba atómica se construyó dentro de un gran programa del gobierno que podía estar rigurosamente controlado, mientras que estas tecnologías las están desarrollando empresas privadas con una regulación más laxa, si es que la hay, señalaba Joy.

Reconocía que estas tecnologías pueden aliviar algunos sufrimientos a corto plazo, pero a la larga sus beneficios quedan abrumadoramente superados por la posibilidad de desencadenar un Armageddon científico que podría acabar con la especie humana.

Joy llegaba a acusar a los científicos de egoístas e ingenuos por intentar crear una sociedad mejor. «Una utopía tradicional es una sociedad y una vida buenas. La buena vida incluye a otras personas. Esta tecno-utopía es solo cuestión de “no me pongo enfermo, no me muero, voy a ver mejor y a ser más inteligente”, y cosas así. Si se lo describieras a Sócrates o a Platón, se reirían de ti».

Y terminaba diciendo: «Creo que no es exagerado decir que estamos en el camino del perfeccionamiento del mal extremo, cuyas posibilidades se extienden mucho más allá de lo que las armas de destrucción masiva permitían a los Estados-nación».[3]

¿La conclusión de todo esto? «Algo parecido a la extinción», avisaba.

Como era de esperar, el artículo generó una tormenta de controversias.

Aquel artículo se escribió hace más de una década. En el mundo de la alta tecnología, eso es toda una vida. Ahora es posible observar algunas de sus predicciones con un poco de retrospectiva. Si volvemos a leer el artículo y ponemos sus advertencias en un contexto, podemos ver con facilidad que Bill Joy exageró muchos de los peligros de estas tecnologías, pero también animó a los científicos a hacer frente a las consecuencias éticas, morales y sociales de su trabajo, y eso siempre es bueno.

El artículo también generó un debate sobre quiénes somos. Al desentrañar los secretos moleculares, genéticos y neuronales del cerebro, ¿no estamos en cierto sentido deshumanizando la humanidad, reduciéndola a un cubo de átomos y neuronas? Si hacemos un mapa completo con todas las neuronas del cerebro y todas las rutas neuronales, ¿no eliminaremos el misterio y la magia de lo que somos?

RESPUESTA A BILL JOY

En retrospectiva, los peligros de la robótica y la nanotecnología están más lejanos de lo que Bill Joy pensaba, y yo diría que con suficiente previsión podremos tomar diversas contramedidas, como prohibir ciertas vías de investigación si conducen a robots incontrolables, instalar chips que los desactiven si se vuelven peligrosos y crear mecanismos de seguridad para inmovilizarlos a todos en caso de emergencia.

Más inmediato es el peligro de la biotecnología, donde existe una posibilidad real de que unos biogérmenes escapen del laboratorio. De hecho, Ray Kurzweil y Bill Joy escribieron juntos un artículo criticando la publicación del genoma completo del virus de la gripe «española» de 1918, uno de los más letales de la historia moderna, que mató a más personas que la Primera Guerra Mundial. Los científicos consiguieron reconstruir el virus ya extinto, examinando los cadáveres y la sangre de sus víctimas y secuenciando sus genes, y después lo publicaron en la red.

Ya existen salvaguardas contra la liberación de virus tan peligrosos, pero hay que tomar medidas para reforzarlas y añadir nuevas capas de protección. En particular, si se produce un brote de un nuevo virus en algún lugar remoto de la Tierra, los científicos deben tener preparados equipos de respuesta rápida, que puedan aislar el virus en la naturaleza, secuenciar sus genes y preparar rápidamente una vacuna para impedir su propagación.

IMPLICACIONES PARA EL FUTURO DE LA MENTE

Este debate tiene también implicaciones directas para el futuro de la mente. Por el momento, la neurociencia es bastante primitiva. Los científicos pueden leer y grabar pensamientos simples del cerebro vivo, registrar unos pocos recuerdos, conectarlo a brazos mecánicos, permitir que los pacientes internados controlen los aparatos que tienen alrededor, silenciar regiones concretas del cerebro por medio del magnetismo e identificar las zonas que funcionan mal relacionadas con las enfermedades mentales.

Pero en las próximas décadas, el poder de la neurociencia puede volverse explosivo. Ahora está en

el umbral de nuevos descubrimientos científicos que probablemente nos dejarán sobrecogidos. Algún día tal vez podamos controlar de manera rutinaria los objetos que nos rodean usando el poder de la mente, descargar recuerdos, curar las enfermedades mentales, aumentar nuestra inteligencia, conocer el cerebro neurona a neurona, crear copias de seguridad de nuestro cerebro y comunicarnos telepáticamente. El mundo del futuro será el mundo de la mente.

Bill Joy no ponía en duda el potencial de esta tecnología para aliviar el sufrimiento y el dolor humanos. Lo que le hacía contemplarla con horror era la posibilidad de crear individuos mejorados que pudieran causar una escisión de la especie humana. En su artículo describía una distopía tenebrosa en la que solo una pequeña élite había mejorado su inteligencia y sus procesos mentales, mientras que las masas populares vivían en la ignorancia y la pobreza. Le preocupaba que la especie humana se dividiera en dos, e incluso que dejara de ser humana.

Pero como hemos indicado, casi todas las tecnologías recién aparecidas son costosas y, por lo tanto, son exclusivamente para los más pudientes. Gracias a la producción masiva, a la bajada de los precios de los ordenadores, a la competencia y al abaratamiento del coste de los transportes, las tecnologías se van filtrando inevitablemente a las personas con menos recursos. Esta fue también la trayectoria seguida por los gramófonos, la radio, la televisión, los ordenadores, los portátiles y los teléfonos móviles.

Lejos de crear un mundo de poseedores y desposeídos, la ciencia ha sido el motor de la prosperidad. De todos los instrumentos que la humanidad ha dominado desde el principio de los tiempos, el más potente y productivo ha sido, con gran diferencia, la ciencia. Para apreciar cómo la tecnología reduce las líneas de falla de la sociedad en lugar de acentuarlas, consideremos cómo vivían nuestros abuelos hacia 1900. La esperanza de vida en Estados Unidos era entonces de cuarenta y nueve años. Muchos niños morían en la infancia. La comunicación a larga distancia consistía en gritar por la ventana. Los viajes a alta velocidad se hacían en carro, si uno podía permitírselo, y con frecuencia te quedabas atascado en el barro. El correo se llevaba a caballo, y no era seguro que llegara. La medicina era, principalmente, ungüento de serpiente. Los únicos tratamientos que de verdad funcionaban eran las amputaciones (sin anestesia) y la morfina para eliminar el dolor. Los alimentos se pudrían en pocos días. La fontanería no existía. Las enfermedades eran una amenaza constante. Y la economía solo podía mantener a un puñado de ricos y a una pequeña clase media.

La tecnología lo ha cambiado todo. Ya no tenemos que cazar nuestra comida, nos basta con ir al supermercado. Ya no tenemos que llevar a cuestas pesados equipajes, utilizamos el coche. (De hecho, la principal amenaza de la tecnología, que ha matado a millones de personas, no son los robots asesinos ni los nanobots locos y descontrolados, es nuestro modo de vida indolente, que ha generado niveles casi epidémicos de diabetes, obesidad, enfermedades cardíacas, cáncer, etcétera. Y este problema nos lo hemos buscado nosotros.)

Esto también se observa a escala global. En las últimas décadas el mundo ha visto cómo cientos de

millones de personas han salido de la pobreza absoluta por primera vez en la historia. Si miramos el conjunto, vemos que una significativa fracción de la especie humana ha abandonado el penoso modo de vida de la agricultura de subsistencia, entrando en las filas de la clase media.

Las naciones de Occidente tardaron varios cientos de años en industrializarse, pero China y la India lo están haciendo en unas décadas, todo debido a la difusión de la alta tecnología. Con la tecnología inalámbrica e internet, estas naciones pueden saltar por delante de otros países más desarrollados que electrificaron con mucho esfuerzo sus ciudades. Mientras Occidente lucha con una infraestructura urbana envejecida y decadente, las naciones en vías de desarrollo están construyendo ciudades enteras con una tecnología deslumbrante de última generación.

(Cuando yo era estudiante de doctorado, mis pares académicos en China tenían que esperar hasta un año a que les llegaran por correo las revistas científicas. Además, casi no tenían contacto directo con científicos e ingenieros occidentales. Pocos o ninguno podían permitirse viajar a Occidente. Esto obstaculizaba enormemente el flujo de tecnología, que avanzaba a velocidad de glaciar en estas naciones. Ahora, en cambio, los científicos pueden leer las publicaciones de otros a los pocos milisegundos de ser colgadas en internet y pueden colaborar por vía electrónica con otros científicos de Occidente. Esto ha acelerado muchísimo el flujo de información por todo el mundo. Y con esta tecnología llegan el progreso y la prosperidad.

Además, no está claro que disponer de algún modo de aumentar la inteligencia vaya a causar un catastrófico fraccionamiento de la especie humana, aunque mucha gente no pueda permitirse este proceso. En general, ser capaz de resolver complicadas ecuaciones matemáticas o tener una memoria perfecta no garantiza mayores ingresos, más respeto de nuestros iguales o más popularidad con el sexo opuesto, que son los incentivos que motivan a la mayoría de la gente. El principio del cavernícola puede más que una mejora del cerebro.

Según el doctor Michael Gazzaniga: «La idea de que estamos jugando con nuestras entrañas les resulta perturbadora a muchos. ¿Y qué haríamos con nuestra inteligencia expandida? ¿La vamos a utilizar para resolver problemas, o simplemente nos serviría para hacer listas más largas de felicitaciones de Navidad?».[4]

Pero, como comentamos en el capítulo 6, los desempleados pueden beneficiarse de esta tecnología, reduciendo drásticamente el tiempo necesario para dominar nuevas técnicas y habilidades. Esto no solo reduciría los problemas relacionados con el desempleo, también ejercería un impacto en la economía mundial, volviéndola más eficiente y más adaptable a los cambios.

SABIDURÍA Y DEBATE DEMOCRÁTICO

En respuesta al artículo de Joy, algunos críticos indicaron que el debate no es un enfrentamiento entre

los científicos y la naturaleza, como se expone en el artículo. El verdadero debate tiene lugar entre tres partes: los científicos, la naturaleza y la sociedad.

Los científicos informáticos John Brown y Paul Duguid respondieron al artículo declarando que: «Las tecnologías —como la pólvora, la imprenta, el ferrocarril, el telégrafo e internet— pueden moldear la sociedad de maneras muy intensas. Pero, por otra parte, los sistemas sociales —en forma de gobiernos, tribunales, organizaciones oficiales y extraoficiales, movimientos sociales, redes profesionales, comunidades locales, mercados, etcétera— dan forma, moderan y redirigen la fuerza bruta de las tecnologías».[5]

En otras palabras, ambas cosas son posibles. No existe una ley de la física que impida que cualquiera de las dos posibilidades se haga realidad. Lo importante es analizarlas en el contexto de la sociedad, y en último término depende de nosotros que adoptemos una visión del futuro que incorpore las mejores ideas.

Para mí, la fuente definitiva de sabiduría en este aspecto sería un vigoroso debate democrático. En las próximas décadas se le pedirá a la población que vote respecto a varias cuestiones científicas trascendentales. La tecnología no se puede debatir en el vacío.

CUESTIONES FILOSÓFICAS

Por último, algunos críticos han argumentado que el avance de la ciencia ha ido demasiado lejos en el desentrañamiento de los secretos de la mente, el cual se ha vuelto deshumanizador y degradante. ¿Por qué molestarse en alegrarse cuando aprendemos a hacer algo nuevo o disfrutamos de unas vacaciones de placer, si todo ello se puede reducir a unos pocos neurotransmisores que activan unos cuantos circuitos neuronales?

En otras palabras, así como la astronomía nos ha reducido a insignificantes fragmentos de polvo cósmico que flotan en un universo indiferente, la neurociencia nos ha reducido a señales eléctricas que circulan por circuitos neurales. Pero ¿es esto realmente así?

Comenzamos nuestra disertación resaltando los dos mayores misterios de la ciencia: la mente y el universo. No solo tienen una historia y una narración comunes, también comparten una filosofía similar, y puede que hasta un mismo destino. La ciencia, con todo su poder para mirar en el corazón de los agujeros negros y aterrizar en planetas lejanos, ha dado origen a dos filosofías generales acerca de la mente y el universo. El principio copernicano y el principio antrópico. Los dos son consistentes con todo lo que conocemos de la ciencia, pero son diametralmente opuestos.

La primera filosofía, el principio copernicano, nació con la invención del telescopio hace más de cuatrocientos años. Estipula que la humanidad no ocupa una posición privilegiada. Esta idea tan engañosamente simple ha echado por tierra miles de años de mitos consagrados y filosofías

arraigadas.

Desde el relato bíblico de Adán y Eva siendo expulsados del Jardín del Edén por morder la manzana del conocimiento, ha habido una serie de humillantes degradaciones. Primero, el telescopio de Galileo demostró sin lugar a dudas que la Tierra no era el centro del universo, sino que lo era el Sol. Y esta imagen quedó superada cuando quedó claro que el sistema solar no era más que una mota en la Vía Láctea, que circula a unos treinta mil años luz del centro. Después, en la década de 1920, Edwin Hubble descubrió que existe una multitud de galaxias. De pronto el universo se había vuelto miles de millones de veces mayor. Ahora el telescopio espacial *Hubble* puede revelar la presencia de hasta cien mil millones de galaxias en el universo visible. Nuestra Vía Láctea ha quedado reducida a un puntito en un escenario cósmico mucho más grande.

Las teorías cosmológicas más recientes rebajan aún más la posición de la humanidad en el universo. La teoría del universo inflacionario considera que nuestro universo visible, con sus cien mil millones de galaxias, es solo una cabeza de alfiler en uno expandido mucho mayor, tan grande que la mayor parte de la luz no ha tenido tiempo para llegar hasta nosotros desde las regiones más lejanas. Existen vastas extensiones del espacio que no podemos ver con nuestros telescopios y que nunca podremos visitar porque no podemos viajar a más velocidad que la luz. Y si la teoría de cuerdas (mi especialidad) es correcta, significa que todo este universo coexiste con otros en un hiperespacio de once dimensiones. Así pues, ni siquiera el espacio tridimensional es la última palabra. El verdadero escenario de los fenómenos físicos es el multiverso de universos, lleno de universos que son como burbujas flotantes.

El escritor de ciencia ficción Douglas Adams intentó resumir la sensación de ser constantemente degradado inventando el Vórtice de Perspectiva Total en su *Guía del autoestopista galáctico*. Estaba diseñado para volver loca a cualquier persona cuerda. Cuando entramos en la cámara, lo único que vemos es un mapa gigante del universo. Y en el mapa hay una flechita diminuta, casi invisible, que dice «Tú estás aquí».

Así que, por una parte, el principio copernicano nos dice que no somos más que insignificantes partículas cósmicas que flotan sin rumbo entre las estrellas. Pero, por otra parte, todos los datos cosmológicos más recientes son consistentes con la otra teoría, que nos da la filosofía contraria: el principio antrópico.

Esta teoría dice que el universo es compatible con la vida. Una vez más, este postulado engañosamente simple tiene profundas implicaciones. Por un lado, es imposible negar que en el universo existe vida. Pero está claro que sus fuerzas tienen que estar muy delicadamente equilibradas para que la vida sea posible. Como dijo el físico Freeman Dyson: «El universo parecía saber que veníamos».

Por ejemplo, si la fuerza nuclear fuera solo un poquito más fuerte, el sol se habría consumido hace miles de millones de años, demasiado pronto para que pudiera aparecer el ADN. Si la fuerza nuclear

fuera un poco más débil, el sol nunca se habría encendido, y tampoco estaríamos aquí.

De manera similar, si la gravedad fuera más fuerte, el universo se habría colapsado en un Big Crunch hace miles de millones de años, y todos habríamos muerto asados. Si fuera un poco más débil, el universo se habría expandido con tanta rapidez que ya habría llegado a la Gran Congelación y todos habríamos muerto helados.

Este preciso afinamiento se extiende a todos los átomos de nuestro cuerpo. La física dice que estamos hechos de polvo de estrellas, que los átomos de nuestro alrededor se forjaron en el calor de una estrella. Somos literalmente hijos de las estrellas.

Pero las reacciones nucleares que quemaron hidrógeno para crear los demás elementos de nuestro cuerpo son muy complejas y podrían haber descarrilado en muchos momentos. Entonces habría sido imposible crear los elementos pesados de nuestros cuerpos, y los átomos del ADN y de la vida no existirían.

En otras palabras, la vida es un milagro, algo precioso.

Son tantos los parámetros que hay que sintonizar que algunos aseguran que esto no es una coincidencia. La forma débil del principio antrópico implica que la existencia de vida obliga a definir de un modo muy preciso los parámetros físicos del universo. La forma fuerte del principio antrópico va aún más lejos, argumentando que Dios, o algún otro diseñador, tuvo que crear un universo «precisamente así» para hacer posible la vida.

FILOSOFÍA Y NEUROCIENCIA

El debate entre el principio copernicano y el principio antrópico también resuena en la neurociencia. Por ejemplo, algunos aseguran que los seres humanos se pueden reducir a átomos, moléculas y neuronas, y que, por lo tanto, no hay ninguna posición de privilegio para la humanidad en el universo.

El doctor David Eagleman ha escrito: «El *tú* que tus amigos conocen y aprecian no puede existir a menos que los transistores y tornillos de nuestro cerebro estén en su sitio. Si no te crees esto, entra en el pabellón de neurología de cualquier hospital. Una lesión en partes pequeñísimas del cerebro puede provocar la pérdida de capacidades sorprendentemente específicas, como la de poner nombre a los animales, la de oír música, la de controlar una conducta de riesgo, la de distinguir colores o la de arbitrar decisiones simples».[6]

Parece que el cerebro no puede funcionar sin todos sus «transistores y tornillos». Eagleman concluye: «Nuestra realidad depende de lo que diga nuestra biología».[7]

Así que, por una parte, nuestra posición en el universo parece rebajarse si se nos puede reducir, como a los robots, a tornillos y tuercas biológicos. Somos solo *wetware*, con un software que

llamamos mente, ni más ni menos. Nuestros pensamientos, deseos, esperanzas y aspiraciones se pueden reducir a impulsos eléctricos que circulan en alguna zona de la corteza prefrontal. Este es el principio copernicano aplicado a la mente.

Pero el principio antrópico también se puede aplicar a la mente, y entonces llegamos a la conclusión contraria. Según este principio, las condiciones del universo simplemente hacen posible la conciencia, aunque sea extraordinariamente difícil crear una mente a partir de sucesos al azar. El gran biólogo victoriano Thomas Huxley decía: «¿Cómo puede ser que una cosa tan notable como un estado de conciencia surja como consecuencia de una irritación del tejido nervioso? Es algo tan inexplicable como la aparición del genio cuando Aladino frota la lámpara».[8]

Además, la mayoría de los astrónomos creen que, aunque algún día podamos encontrar vida en otros planetas, lo más probable es que sea microbiana, que dominó nuestros océanos durante miles de millones de años. En lugar de encontrar grandes imperios y ciudades, solo hallaríamos océanos llenos de microorganismos errantes.

Cuando entrevisté al biólogo de Harvard Stephen Jay Gould sobre este tema, me explicó lo que pensaba de la manera siguiente: si creáramos un planeta gemelo de la Tierra, tal como esta era hace cuatro mil quinientos millones de años, ¿sería igual que el nuestro cuando hayan pasado cuatro mil quinientos millones de años? Seguramente no. Existe una gran probabilidad de que el ADN y la vida no hubieran prosperado nunca, y otra aun mayor de que la vida inteligente y consciente no surgiera nunca del pantano.[9]

Gould escribió: «El *Homo sapiens* es una minúscula ramita (del árbol de la vida). Pero nuestra ramita, para bien o para mal, ha desarrollado la más extraordinaria cualidad nueva en toda la historia de la vida pluricelular desde la explosión cámbrica (hace quinientos millones de años). Hemos inventado la consciencia con todas sus consecuencias, desde *Hamlet* hasta Hiroshima».[10]

De hecho, en la historia de la Tierra ha habido muchas ocasiones en las que la vida inteligente estuvo a punto de extinguirse. Además de las extinciones masivas que exterminaron a los dinosaurios y a casi toda la vida sobre la Tierra, los humanos han afrontado otras cuasi-extinciones adicionales. Por ejemplo, todos los seres humanos están genéticamente emparentados en grado considerable, mucho más que dos típicos animales de la misma especie. Aunque los humanos puedan parecer muy diversos vistos por fuera, nuestros genes y nuestra química interna cuentan una historia diferente. De hecho, dos humanos cualesquiera tienen un parentesco genético tan estrecho que podemos hacer cálculos y deducir cuándo existieron un «Adán genético» o una «Eva genética» de los que desciende toda la especie humana. Es más, podemos calcular el número de humanos que había en el pasado.

Los números son muy interesantes. La genética demuestra que entre setenta mil y cien mil años atrás, solo existían unos pocos centenares o miles de humanos que dieron origen a toda la especie humana. (Según una teoría, la titánica explosión del volcán Toba en Indonesia, hace unos setenta mil años, ocasionó una bajada de la temperatura tan grande que la mayor parte de la especie humana

pereció, dejando solo un puñado de individuos para poblar la Tierra.) De aquella pequeña banda de humanos salieron los aventureros y exploradores que acabarían colonizando el planeta entero.

La vida inteligente habría podido llegar a un callejón sin salida muchas veces en la historia de la Tierra. Es un milagro que hayamos sobrevivido. También podemos conjeturar que, aunque exista vida en otros planetas, la vida consciente solo puede existir en una minúscula fracción de ellos. Por eso deberíamos atesorar la consciencia que existe en la Tierra. Es la máxima complejidad conocida en el universo, y probablemente la más extraña.

A veces, cuando contemplo el destino futuro de la especie humana, tengo que enfrentarme con la clara posibilidad de su autodestrucción. Aunque las erupciones volcánicas y los terremotos puedan ser mortíferos para la especie humana, nuestros peores temores se pueden hacer realidad en forma de desastres causados por el hombre, como las guerras nucleares o los gérmenes modificados genéticamente. Y si esto ocurre, se podría extinguir la que tal vez sea la única forma de vida con conciencia en este sector de la Vía Láctea. Considero que esto sería una tragedia no solo para nosotros, sino para el universo. Damos por sentado que somos conscientes, pero no comprendemos la larga y tortuosa secuencia de sucesos biológicos que ha hecho posible esto. El psicólogo Steven Pinker ha escrito: «Yo diría que nada da más sentido a la vida que la comprensión de que cada momento de conciencia es un don precioso y frágil».[11]

EL MILAGRO DE LA CONCIENCIA

Por último, tenemos esas críticas a la ciencia según las cuales comprender algo equivale a eliminar su misterio y su magia. La ciencia, al levantar el velo que oculta los secretos de la mente, está convirtiéndola en algo vulgar y mundano. Sin embargo, cuanto más aprendo sobre la complejidad del cerebro, más me asombra que una cosa instalada sobre nuestros hombros sea el objeto más sofisticado que se conoce en el universo. El doctor David Eagleman lo expresa así: «Qué desconcertante obra maestra es el cerebro, y qué suerte tenemos de vivir en una generación que dispone de la tecnología y la voluntad de centrar en él nuestra atención. Es lo más maravilloso que hemos descubierto en el universo, y somos nosotros».[12] En lugar de disminuir la sensación de maravilla, aprender sobre el cerebro la aumenta.

Hace dos mil años Sócrates dijo: «Conocerte a ti mismo es el principio de la sabiduría». Estamos embarcados en un largo viaje para cumplir sus deseos.

Apéndice

¿Conciencia cuántica?

A pesar de todos los milagrosos avances en escáneres cerebrales y alta tecnología, hay quien afirma que nunca entenderemos el secreto de la conciencia, ya que está fuera del alcance de nuestra deficiente tecnología. De hecho, en su opinión, la conciencia es más fundamental que los átomos, las moléculas y las neuronas, y determina la naturaleza de la propia realidad. Para ellos, la conciencia es la entidad fundamental a partir de la cual se crea el mundo material. Y para demostrarlo se remiten a una de las mayores paradojas de la ciencia, que pone a prueba la mismísima definición de realidad: el problema del gato de Schrödinger. Incluso en la actualidad no hay un consenso universal sobre la cuestión, y varios ganadores del Premio Nobel tienen posturas diferentes al respecto. Lo que está en juego es nada menos que la naturaleza de la realidad y el pensamiento.

La paradoja del gato de Schrödinger conecta con los mismísimos cimientos de la mecánica cuántica, un campo capaz de hacer posibles los láseres, los escáneres de imagen por resonancia magnética, la radio y la televisión, la electrónica moderna, el GPS y las telecomunicaciones, de los cuales depende la economía mundial. Muchas de las predicciones de la teoría cuántica se han comprobado con una precisión de hasta once cifras decimales.

Yo he dedicado toda mi carrera profesional a trabajar en la teoría cuántica, a pesar de lo cual soy consciente de que tiene pies de barro. Saber que el trabajo de toda una vida depende de una teoría cuyos cimientos se basan en una paradoja provoca una sensación desasosegante.

El debate lo provocó el físico austríaco Erwin Schrödinger, uno de los padres fundadores de la teoría cuántica, cuando intentaba explicar el extraño comportamiento de los electrones, que mostraban propiedades tanto ondulatorias como corpusculares. ¿Cómo puede un electrón, una partícula puntual, tener dos conductas divergentes? En ocasiones el electrón se comportaba como una partícula y dejaba un rastro bien definido en una cámara de niebla; otras veces actuaba como una onda, por ejemplo cuando atravesaba pequeños agujeros y creaba patrones de interferencia como los que se producen en la superficie de un estanque, propios de los fenómenos ondulatorios.

En 1925, Schrödinger propuso su famosa ecuación ondulatoria, que lleva su nombre y es una de las más importantes de la historia. Su repercusión fue inmediata y supuso la razón por la que recibió el Premio Nobel en 1933. La ecuación de Schrödinger describía con precisión el comportamiento ondulatorio de los electrones, y si se aplicaba al átomo de hidrógeno explicaba sus extrañas

propiedades. Milagrosamente, también podía aplicarse a cualquier otro átomo para explicar la mayoría de las características de la tabla periódica de los elementos. Parecía que toda la química (y, por ende, toda la biología) no era más que un conjunto de soluciones de esta ecuación de ondas. Algunos físicos llegaron a afirmar que todo el universo, incluidas todas las estrellas, los planetas e incluso nosotros, no era más que una solución de esta ecuación.

Pero entonces los físicos empezaron a plantearse una pregunta problemática que sigue resonando hoy en día: si el electrón se describe con una ecuación de ondas, ¿qué es lo que ondula?

En 1927, Werner Heisenberg propuso un nuevo principio que dividió a la comunidad física en dos bandos. El famoso principio de indeterminación de Heisenberg afirma que no se puede conocer con certeza al mismo tiempo la posición y el momento de un electrón. Esta indeterminación no dependía de lo rudimentarios que fuesen los instrumentos de medida, sino que era inherente a la propia física. Ni siquiera Dios o algún ser celestial podría conocer con precisión la posición y el momento de un electrón.

La función de onda de Schrödinger describía en realidad la probabilidad de encontrar el electrón. Los científicos llevaban cientos de años esforzándose por eliminar el azar y las probabilidades de su trabajo, y ahora Heisenberg estaba permitiendo que se colasen por la puerta de atrás.

La nueva filosofía puede resumirse así: el electrón es una partícula puntual, pero la probabilidad de encontrarlo viene dada por una onda. Y esta obedece la ecuación de Schrödinger y da lugar al principio de indeterminación.

La comunidad física se dividió en dos. De un lado estaban físicos como Niels Bohr, Werner Heisenberg y la mayoría de los físicos atómicos, que adoptaron esta nueva formulación con entusiasmo. Casi a diario, anunciaban nuevos avances en la comprensión de las propiedades de la materia. El Premio Nobel recaía sobre los físicos cuánticos como si fuese el Oscar. La mecánica cuántica se estaba convirtiendo en un recetario: no hacía falta ser un gran físico para realizar contribuciones estelares, bastaba con seguir las recetas que daba la mecánica cuántica para lograr avances asombrosos.

Del otro lado estaban varios ganadores del Premio Nobel más veteranos, como Albert Einstein, Erwin Schrödinger y Louis de Broglie, que planteaban objeciones filosóficas. Schrödinger, cuyo trabajo contribuyó a poner en marcha todo este proceso, rezongaba diciendo que, si hubiese sabido que su ecuación introduciría la probabilidad en la física, nunca la habría desarrollado.

Los físicos se embarcaron en un debate de ochenta años de duración, que dura hasta hoy. Por una parte, Einstein afirmaba que «Dios no juega a los dados»; por la otra, Niels Bohr supuestamente respondía: «Deja de decirle a Dios lo que tiene que hacer».

En 1935, para acabar con la resistencia de los físicos cuánticos de una vez por todas, Schrödinger propuso su famoso problema del gato. Metemos a un gato en una caja sellada, con un recipiente con gas venenoso. En la caja hay un trozo de uranio. El átomo de uranio es inestable y emite partículas

que se pueden detectar con un contador Geiger. Este activa un martillo que al caer rompe el recipiente, lo que libera el gas, capaz de matar al gato.

¿Cómo se describe al gato? Un físico cuántico diría que el átomo de uranio está descrito por una onda, que puede desintegrarse o no. Por lo tanto, habría que sumar las dos ondas. Si el uranio se activa, el gato muere, y esa situación viene descrita por una onda. Si no se desintegra, el gato sobrevive, y esa posibilidad también la describe una onda. Por lo tanto, para describir al gato hay que sumar la onda del muerto con la del vivo.

¡Esto significa que el gato no está ni vivo ni muerto! Este se encuentra en un inframundo, entre la vida y la muerte, la suma de la onda que describe a un gato muerto con la de uno vivo.

Esta es la raíz del problema, que resuena en los corredores de la física desde hace casi un siglo. ¿Cómo se resuelve esta paradoja? Hay al menos tres maneras (y cientos de variaciones de cada una de ellas).

La primera es la interpretación de Copenhague original, propuesta por Bohr y Heisenberg, la que se cita en los libros de texto de todo el mundo. (Es con la que yo abro mis cursos de mecánica cuántica.) Formula que, para determinar el estado del gato, hay que abrir la caja y realizar una medida. La onda del gato (que era la suma del gato muerto y el gato vivo) ahora «se colapsa» en una única onda, de manera que sabremos que el gato está vivo (o muerto). El proceso de medición es, por lo tanto, responsable de que las dos ondas se disuelvan en una sola como por arte de magia.

Einstein odiaba esta interpretación. Durante siglos los científicos habían luchado contra algo llamado «solipsismo», o «idealismo subjetivo», que afirma que los objetos no pueden existir a menos que haya alguien allí para observarlos. Solo la mente es real, el mundo material existe únicamente como ideas en ella. Por lo tanto, dicen los solipsistas (como el obispo George Berkeley), si un árbol cae en el bosque pero no hay nadie allí para observarlo, puede que nunca haya caído. Einstein, a quien todo esto le parecía absurdo, promovía una teoría opuesta, de la «realidad objetiva», según la cual el universo existe en un estado único y definido, independiente de cualquier observación humana. Es lo que la mayoría de la gente considera como sentido común.

La realidad objetiva se remonta a Isaac Newton. Según esta representación, el átomo y las partículas subatómicas son como minúsculas bolas de metal que existen en puntos bien definidos en el espacio y en el tiempo. No hay ambigüedad ni azar a la hora de precisar la posición de estas bolas, cuyo comportamiento puede determinarse mediante las leyes del movimiento. Esta representación tuvo un éxito espectacular a la hora de describir el movimiento de los planetas, las estrellas y las galaxias. Usando la relatividad, también permite describir los agujeros negros y el universo en expansión. Pero hay un lugar donde fracasa sin paliativos: en el interior del átomo.

Los físicos clásicos, como Newton y Einstein, pensaban que la realidad objetiva había expulsado definitivamente el solipsismo de la física. Walter Lippmann, el columnista, lo resumió diciendo: «La novedad radical de la física moderna se encuentra precisamente en el rechazo de la creencia […]

según la cual las fuerzas que mueven las estrellas y los átomos dependen de las preferencias del corazón humano».

Pero la mecánica cuántica permitió que una nueva forma de solipsismo volviese a la física. En esta representación, antes de que lo observemos, un árbol puede existir en cualquier estado posible (como un árbol joven, calcinado, en forma de serrín o de palillos, podrido). Pero cuando lo observamos, la onda colapsa súbitamente y toma el aspecto de un árbol. Los solipsistas originales hablaban de árboles que caían o no. Los nuevos solipsistas cuánticos introducían todos los estados posibles del árbol.

Esto era demasiado para Einstein. A quienes le visitaban en su casa les preguntaba: «¿Existe la Luna porque un ratón la mira?». Para un físico cuántico, en cierto sentido, la respuesta es que sí.

Einstein y sus colegas desafiaban a Bohr al preguntar: ¿cómo puede el micromundo cuántico (con sus gatos simultáneamente vivos y muertos) coexistir con el mundo ordinario que vemos a nuestro alrededor? La respuesta es que existe un «muro» que separa nuestro mundo del de los átomos. A un lado, predomina el sentido común; al otro, la que manda es la teoría cuántica. El muro se puede mover si se quiere, pero los resultados siguen siendo los mismos.

Esta interpretación, por extraña que sea, es la que los físicos cuánticos llevan ochenta años enseñando. Más recientemente han surgido algunas dudas sobre la interpretación de Copenhague. Hoy en día, con la nanotecnología, podemos manipular átomos individuales a nuestro antojo. En la pantalla de un microscopio de efecto túnel, los átomos se ven como borrosas pelotas de tenis. (Para un programa de la BBC-TV, tuve la oportunidad de viajar hasta el Laboratorio Almaden de IBM, en San José, California, y mover átomos individuales de un lado a otro con una minúscula sonda. En otra época se pensaba que eran demasiado pequeños para que pudiésemos verlos alguna vez, y ahora podemos jugar con ellos.)

Como hemos visto, la Era del Silicio va tocando poco a poco a su fin, y algunos creen que los transistores moleculares tomarán el relevo de los de silicio. Si eso sucede, las paradojas de la teoría cuántica estarán en pleno corazón de todos los ordenadores del futuro. La economía mundial podría llegar a depender de ellas.

LA CONCIENCIA CÓSMICA Y LOS UNIVERSOS MÚLTIPLES

Existen dos interpretaciones alternativas de la paradoja del gato, que nos transportan a los dominios más extraños de la ciencia: el reino de Dios y el de los universos múltiples.

En 1967, el Premio Nobel Eugene Wigner (cuyo trabajo fue fundamental para establecer los cimientos de la mecánica cuántica, así como para la construcción de la bomba atómica) reformuló una versión del problema del gato. Dijo que solo una persona consciente podía realizar la

observación que colapsaba la función de onda. Pero ¿quién decide que esta persona existe? No podemos separar al observador de lo observado, por lo que quizá esta persona también esté a la vez viva y muerta. En otras palabras, tiene que existir una nueva función de onda que incluya tanto al gato como al observador. Para asegurarnos de que el observador está vivo, necesitamos que un segundo observador estudie al primero. Este segundo observador se conoce como el «amigo de Wigner» y es necesario que observe al primero para que colapsen todas las funciones de onda. Pero ¿cómo sabemos que el segundo observador está vivo? Para cerciorarnos de que lo está, habría que incluirlo en una función de onda aún más grande, y este bucle podría repetirse indefinidamente. Puesto que necesitamos un número infinito de «amigos» para que colapse la función de onda anterior y así estar seguros de que están vivos, lo que tenemos es una forma de «conciencia cósmica», o Dios.

Wigner concluyó que: «No era posible formular las leyes (de la teoría cuántica) de una manera completamente consistente sin hacer referencia a la conciencia». Al final de su vida, incluso se interesó por la filosofía vedanta del hinduismo.

Según esta aproximación, Dios o alguna conciencia eterna nos observa a todos, haciendo que colapsen nuestras funciones de onda, y podamos así decir que estamos vivos. Esta interpretación proporciona los mismos resultados físicos que la de Copenhague, por lo que no se puede demostrar que sea falsa. Pero lleva implícita la idea de que la conciencia es la entidad fundamental del universo, más que los átomos. El mundo material puede aparecer o desaparecer, pero la conciencia permanece como elemento definitorio. Eso significa que esta última, en cierto sentido, crea la realidad. La propia existencia de los átomos que nos rodean se basa en nuestra capacidad para verlos y tocarlos.

(Llegados a este punto, debemos señalar que hay quien piensa que, puesto que la conciencia determina nuestra existencia, también puede controlarla, quizá a través de la meditación. Estas personas creen que podemos crear la realidad a nuestro antojo. Esta manera de pensar, por atractiva que pueda parecer, choca con la mecánica cuántica. En la física cuántica, la conciencia efectúa las observaciones y, por lo tanto, determina el estado de la realidad, pero no puede elegir con antelación qué estado existe de hecho. La mecánica cuántica solo permite determinar la probabilidad de encontrar un estado, pero no se puede moldear la realidad a nuestro antojo. Por ejemplo, en el póker, se puede calcular matemáticamente la probabilidad de obtener una escalera real, aunque eso no significa que podamos controlar las cartas para obtenerla. No podemos elegir nuestro universo, como tampoco tenemos control sobre las cartas ni sobre si el gato está vivo o muerto.)

UNIVERSOS MÚLTIPLES

La tercera aproximación es la interpretación de Everett o de los mundos múltiples, propuesta por Hugh Everett en 1957. Es la teoría más extraña de todas. Afirma que el universo se está dividiendo

continuamente en un multiverso de universos. En uno de ellos, el gato está muerto; en otro, vivo. Este enfoque se puede resumir así: las funciones de onda nunca colapsan, sino que se dividen. La teoría de los mundos múltiples de Everett difiere de la interpretación de Copenhague únicamente en que prescinde del supuesto final: el colapso de la función de onda. En cierto sentido es la formulación más sencilla de la mecánica cuántica, pero también la más perturbadora.

Esta tercera aproximación tiene profundas consecuencias. Significa que todos los universos posibles pueden llegar a existir, incluso los más extraños y aparentemente imposibles. (No obstante, cuanto más raro es el universo, menos probable es su existencia.)

Esto significa que las personas que han muerto en nuestro universo aún siguen vivas en otro. Y estos fallecidos insisten en que su universo es el correcto y el nuestro (en el que están muertas) es falso. Pero si estos «fantasmas» de los muertos siguen vivos en algún lugar, ¿por qué no podemos verlos? ¿Por qué no podemos tocar estos mundos paralelos? (Por extraño que parezca, en esta representación, Elvis sigue vivo en uno de estos universos.)

Es más, algunos de estos universos podrían estar muertos, sin vida alguna, pero otros podrían ser exactamente como el nuestro, salvo por una diferencia clave. Por ejemplo, la colisión de un solo rayo cósmico es un minúsculo evento cuántico. Pero ¿qué sucede cuando ese rayo cósmico atraviesa a la madre de Hitler, y el futuro Adolf muere antes de nacer? Entonces un diminuto evento cuántico, la colisión de un solo rayo cósmico, hace que el universo se divida en dos. En uno de los universos resultantes, la Segunda Guerra Mundial nunca sucedió, y no tuvieron que morir sesenta millones de personas. Con el tiempo, estos dos universos evolucionan hasta ser muy distintos, pero inicialmente solo los separa un minúsculo evento cuántico.

El escritor de ciencia ficción Philip K. Dick exploró este fenómeno en su novela *El hombre en el castillo*, donde se abre un universo paralelo como consecuencia de un único evento: Franklin Roosevelt muere asesinado tras recibir un disparo. El acontecimiento crucial implica que Estados Unidos no está preparado para la Segunda Guerra Mundial, y los nazis y los japoneses resultan vencedores y se acaban repartiendo Estados Unidos.

Pero que la bala se dispare o no depende a su vez de que salte o no una chispa microscópica en la pólvora, lo cual a su vez depende de complejas reacciones moleculares en las que interviene el movimiento de los electrones. De manera que las fluctuaciones cuánticas en la pólvora podrían determinar si el arma se dispara o no, lo que a su ver determina si los Aliados o los nazis obtienen la victoria en la Segunda Guerra Mundial.

Así pues, no existe ese «muro» que separa el mundo cuántico y el macroscópico. Las extrañas características de la teoría cuántica se deslizan hasta nuestro mundo «normal». Estas funciones de onda nunca se colapsan, sino que siguen dividiéndose indefinidamente en universos paralelos. La creación de universos alternativos nunca se detiene. Las paradojas del micromundo (por ejemplo, estar simultáneamente vivo y muerto, encontrarse en dos lugares al mismo tiempo, desaparecer y

volver a aparecer en otro lugar) ahora llegan también a nuestro mundo.

Pero, si la función de onda está continuamente dividiéndose y creando universos completamente nuevos, ¿por qué no podemos visitarlos?

El Premio Nobel Steven Weinberg compara esta situación con escuchar la radio en el salón de casa. En la habitación hay en cada instante cientos de ondas de radio procedentes de todo el mundo, pero nuestro dial está sintonizado en una sola frecuencia. Dicho de otro modo, nuestra radio se ha «descoherenciado» de todas las demás emisoras. (La coherencia se produce cuando todas las ondas vibran al unísono, como en un haz láser. La descoherencia sucede cuando esas ondas empiezan a desfasarse y dejan de vibrar al unísono.) Todas esas otras frecuencias existen, pero nuestra radio no las puede detectar porque ya no están vibrando en la misma frecuencia que nosotros. Se han desacoplado de nosotros, es decir, se han descoherenciado.

De la misma manera, con el paso del tiempo las funciones de onda del gato vivo y muerto se han desacoplado. Las consecuencias de esto son asombrosas. En nuestro salón coexistimos con las ondas de dinosaurios, piratas, extraterrestres y monstruos, pero ignoramos completamente que compartimos el mismo espacio con estos extraños habitantes del espacio cuántico, porque nuestros átomos ya no vibran al unísono con los suyos. Estos universos paralelos no existen en un remoto País de Nunca Jamás, sino en nuestro propio salón.

A la entrada en uno de estos mundos paralelos se le llama «dar un salto cuántico», y es uno de los trucos favoritos de la ciencia ficción. Para ingresar en un universo paralelo debemos dar un salto cuántico. (Incluso hubo una serie de televisión titulada *Salto al infinito*, en la que la gente saltaba continuamente de un universo a otro. La serie comienza con un chico leyendo un libro. Se trata de mi libro *Hiperespacio*, aunque no me hago responsable de la física que se representa en la serie.)

En realidad, no es tan fácil saltar de un universo a otro. A veces les pedimos a nuestros estudiantes de doctorado que calculen la probabilidad de que, al saltar contra un muro de ladrillos, acabemos al otro lado. El resultado da que pensar. Tendríamos que esperar un tiempo más largo que la edad del universo para experimentar un salto cuántico a través de un muro de ladrillos.

MIRARSE EN EL ESPEJO

Cuando me miro en el espejo, no me veo realmente como soy. Para empezar, me veo con una mil millonésima de segundo de retraso, porque ese es el tiempo que un haz de luz tarda en salir de mi cara, llegar hasta el espejo y volver hasta mis ojos. Además, la imagen que veo es un promedio de miles de millones de funciones de onda. Sin duda se parece a mi imagen, pero no es exacto. Estoy rodeado continuamente de universos alternativos, que se dividen de manera constante en mundos diferentes, pero la probabilidad de saltar entre dos de ellos es tan reducida que la mecánica

newtoniana parece correcta.

Llegados a este punto, hay quien se plantea esta cuestión: ¿por qué los científicos no pueden simplemente llevar a cabo un experimento para determinar cuál de las interpretaciones es válida? Si realizamos un experimento con un electrón, las tres obtendrán el mismo resultado. Por lo tanto, todas ellas son interpretaciones serias y viables de la mecánica cuántica, basadas en la misma teoría. La diferencia está en la manera de explicar los resultados.

Puede que, dentro de cientos de años, los físicos y los filósofos continúen debatiendo esta cuestión sin llegar a un acuerdo, porque las tres proporcionan los mismos resultados físicos. Pero quizá haya una manera en que este debate filosófico implique al cerebro, y esa es la cuestión del libre albedrío, que a su vez afecta a los cimientos morales de la sociedad humana.

EL LIBRE ALBEDRÍO

Toda nuestra civilización se basa en el concepto de libre albedrío, que afecta a las nociones de recompensa, castigo y responsabilidad personal. Pero ¿existe realmente el libre albedrío? ¿O es solo una manera inteligente de mantener la cohesión social aunque viole los principios científicos? La controversia llega hasta el mismísimo núcleo de la mecánica cuántica.

Podemos decir sin temor a equivocarnos que cada vez son más los neurocientíficos que están llegando a la conclusión de que el libre albedrío no existe, al menos no en el sentido tradicional de la expresión. Si se puede establecer una relación entre determinados comportamientos estrafalarios y ciertos defectos concretos del cerebro, entonces, desde un punto de vista científico, la persona que los padece no es responsable de los delitos que esas conductas puedan implicar. Puede que sea muy peligroso permitir que ande libremente por las calles y deba estar internada en alguna institución, pero castigar a alguien por sufrir un derrame cerebral o por tener un tumor en el cerebro no es lo adecuado, sostienen. Lo que esa persona necesita es ayuda médica y psicológica. Quizá la lesión cerebral se pueda tratar (por ejemplo, extirpando el tumor) y la persona pueda convertirse en un miembro productivo de la sociedad.

Cuando entrevisté al doctor Simon Baron-Cohen, psicólogo de la Universidad de Cambridge, me contó que muchos asesinos patológicos (aunque no todos) tenían una anomalía cerebral. Las imágenes de su cerebro muestran que carecen de empatía cuando ven sufrir a otra persona y de hecho puede que disfruten viendo ese dolor (en estos individuos la amígdala y el núcleo accumbens, el centro del placer, se activan cuando ven vídeos de personas que experimentan dolor).[1]

La conclusión que alguien podría extraer de esto es que estas personas no son realmente responsables de sus atroces actos, aunque deberían mantenerse aisladas de la sociedad. Necesitan ayuda, no un castigo, para el problema con su cerebro. En cierto sentido, puede que no actúen con

libre albedrío cuando cometen sus crímenes.

Un experimento realizado por el doctor Benjamin Libet en 1985 arroja dudas sobre la propia existencia del libre albedrío. Supongamos que les pedimos a los sujetos del experimento que miren un reloj y anoten con precisión el momento en que deciden mover un dedo. Mediante escáneres de electroencefalografía, podemos detectar exactamente cuándo toma el cerebro esa decisión. Si comparamos ambos tiempos, vemos que existe una discrepancia. Los electroencefalogramas muestran que el cerebro ha tomado la decisión alrededor de trescientos milisegundos antes de que la persona tome conciencia de ella.

Eso significa que, en cierto sentido, el libre albedrío es falso. El cerebro toma las decisiones con antelación, sin la participación de la conciencia, y después trata de disimularlo (como acostumbra) haciendo creer que la decisión fue consciente. El doctor Michael Sweeney concluye: «Los resultados de Libet sugerían que el cerebro sabe lo que una persona decidirá antes que la persona. […] El mundo debe reevaluar no solo la idea de que los movimientos se dividen entre voluntarios e involuntarios, sino la propio noción de libre albedrío».[2]

Todo esto parece indicar que el libre albedrío, el pilar de la sociedad, es una ficción, una ilusión creada por nuestro lóbulo izquierdo. Entonces, ¿somos los amos de nuestro destino o solo peones en una farsa perpetrada por nuestro cerebro?

Hay varias maneras de enfrentarse a esta espinosa cuestión. El libre albedrío va contra una filosofía llamada determinismo, que simplemente afirma que todos los eventos futuros están determinados por las leyes de la física. Según el propio Newton, el universo es una especie de reloj, que lleva funcionando desde el principio de los tiempos, según las leyes del movimiento. De manera que todos los eventos son predecibles.

La cuestión es: ¿formamos parte de este reloj?; ¿están también predeterminadas todas nuestras acciones? Estas preguntas tienen repercusiones filosóficas y teológicas. Por ejemplo, la mayoría de las religiones asume algún tipo de determinismo y predestinación. Puesto que Dios es omnipotente, omnisciente y omnipresente, Él conoce el futuro, y, por lo tanto, este está predeterminado. Incluso antes de nacer, Él sabe si iremos al cielo o al infierno.

La Iglesia católica vivió un cisma a causa de esta cuestión durante la revolución protestante. Según la doctrina católica de la época, uno podía cambiar su destino final mediante una indulgencia, normalmente realizando una generosa contribución económica a la Iglesia. Dicho de otra manera, el tamaño de nuestra cartera podía alterar el determinismo. Martín Lutero se refirió específicamente a la corrupción de la Iglesia respecto a las indulgencias cuando colgó sus noventa y cinco tesis en el muro de una iglesia en 1517, lo que desató la reforma protestante. Este fue uno de los motivos principales por los que la Iglesia se dividió en dos, lo que provocó millones de muertos y supuso la ruina de regiones enteras de Europa.

Pero a partir de 1925 la indeterminación entró en la física a través de la mecánica cuántica. De

pronto todo era incierto, lo único que se podía calcular eran las probabilidades. En este sentido, quizá sí exista el libre albedrío, como una manifestación de la mecánica cuántica. Esto lleva a algunas personas a asegurar que la teoría cuántica reafirma el concepto de libre albedrío. A lo cual los deterministas responden diciendo que los efectos cuánticos son extremadamente pequeños (a nivel atómico), demasiado para poder explicar el libre albedrío de los seres humanos.

La situación actual sigue siendo bastante confusa. Puede que la pregunta sobre si existe el libre albedrío sea como la de «¿qué es la vida?». El descubrimiento del ADN ha hecho que la pregunta sobre la vida deje de ser relevante. Ahora sabemos que la cuestión tiene muchas capas y complejidades. Puede que lo mismo suceda con el libre albedrío, y que existan muchos tipos distintos.

De ser así, la propia definición de «libre albedrío» es ambigua. Por ejemplo, una manera de definirlo pasa por preguntarse si el comportamiento se puede predecir. Si el libre albedrío existe, la conducta se podría prever con antelación. Supongamos que estamos viendo una película. La trama está por completo determinada, sin rastro de libre albedrío, de manera que la película es totalmente predecible. Pero nuestro mundo no puede ser como una película por dos razones. La primera es la teoría cuántica, como ya hemos dicho: aunque la física clásica afirma que cualquier movimiento de los átomos es predecible y está completamente determinado, en la práctica el inmenso número de átomos hace que sea imposible predecir esos movimientos. La mínima alteración de un solo átomo puede propagarse y amplificarse, para acabar dando lugar a enormes perturbaciones.

Pensemos en el tiempo atmosférico, por ejemplo. Si conociésemos el comportamiento de cada átomo del aire y tuviésemos un ordenador lo suficientemente potente, podríamos predecir el tiempo que hará dentro de cien años. Pero en la práctica esto es imposible. Después de unas pocas horas, el tiempo se vuelve tan turbulento y complejo que cualquier simulación informática es inútil.

Esto provoca lo que se conoce como «efecto mariposa», que se refiere al hecho de que el aleteo de una mariposa puede provocar minúsculas perturbaciones en la atmósfera que podrían propagarse y amplificarse hasta dar lugar a una tormenta. Si el batir de las alas de una mariposa puede provocar una tormenta, entonces la idea de predecir el tiempo con precisión es inverosímil.

Volvamos al experimento mental que me describió Stephen Jay Gould. Me pidió que imaginase la Tierra hace cuatro mil quinientos millones de años, cuando nació. Imaginemos ahora que de alguna manera podemos crear una copia idéntica de la Tierra, y dejamos que evolucione. ¿Existiríamos en esa nueva Tierra cuatro mil quinientos millones de años después?

Es fácil imaginar que, debido a los efectos cuánticos o a la naturaleza caótica del clima y de los océanos, en esa nueva Tierra la humanidad nunca evolucionaría hasta dar lugar exactamente a las mismas criaturas. Así pues, en última instancia, parece que la combinación de indeterminación y caos hace imposible la existencia de un mundo totalmente determinista.

Este debate también afecta a la ingeniería inversa del cerebro. Si podemos aplicarla con éxito a un cerebro compuesto de transistores, eso implica que el cerebro es determinista y predecible. Si le planteamos repetidamente cualquier pregunta, la respuesta que obtendremos será exactamente la misma cada vez. En este sentido, los ordenadores son deterministas, porque ante una misma pregunta, siempre ofrecen una respuesta idéntica.

Parece que tenemos un problema. Por una parte, la mecánica cuántica y la teoría del caos afirman que el universo no es predecible y que, por lo tanto, el libre albedrío es posible. Pero un cerebro reconstruido por ingeniería inversa y hecho de transistores sería por definición predecible. Puesto que este cerebro reconstruido es teóricamente idéntico a uno vivo, el cerebro humano es también determinista y no existe el libre albedrío. Claramente, esto contradice la primera afirmación.

Una minoría de científicos afirma que la teoría cuántica hace que sea imposible reconstruir un cerebro por ingeniería inversa o crear una verdadera máquina pensante. El cerebro, argumentan, es un dispositivo cuántico, no solo un conjunto de transistores, por lo que este proyecto está abocado al fracaso. A este bando pertenece el físico de Oxford Roger Penrose, una autoridad en la teoría de la relatividad de Einstein, quien afirma que son los procesos cuánticos los que podrían explicar la conciencia del cerebro humano. Penrose afirma que el matemático Kurt Gödel ha demostrado que la aritmética es incompleta, es decir, que hay proposiciones verdaderas que no se pueden demostrar a partir de los axiomas de la propia aritmética. Análogamente, no solo las matemáticas son incompletas, sino también la física. Penrose concluye que el cerebro es básicamente un dispositivo mecanocuántico y que hay problemas que ninguna máquina podrá resolver debido al teorema de incompletitud de Gödel. Sin embargo, los humanos podemos descifrar esos enigmas gracias a la intuición.

De manera similar, el cerebro reconstruido por ingeniería inversa, por complejo que sea, no deja de ser un conjunto de transistores y cables. En un sistema determinista como ese, se puede predecir con precisión su comportamiento futuro, porque se conocen las leyes del movimiento. Sin embargo, un sistema cuántico es intrínsecamente impredecible. Lo máximo que se puede calcular es la probabilidad de que algo ocurra, debido al principio de indeterminación.

Si resulta que el cerebro reconstruido por ingeniería inversa no es capaz de reproducir el comportamiento humano, los científicos pueden verse obligados a reconocer que en el sistema intervienen fuerzas impredecibles (por ejemplo, los efectos cuánticos en el interior del cerebro). El doctor Penrose argumenta que en el interior de una neurona existen unas estructuras diminutas, llamadas «microtúbulos», donde dominan los procesos cuánticos.

Actualmente no hay consenso sobre este problema. A juzgar por la reacción a la idea de Penrose cuando la propuso, no parece arriesgado afirmar que la mayor parte de la comunidad científica se

muestra escéptica ante su enfoque. Pero la ciencia no es un concurso de popularidad, sino que progresa mediante teorías comprobables, reproducibles y falsables.

Por mi parte, yo creo que los transistores no pueden reproducir todo el comportamiento de las neuronas, que llevan a cabo cálculos tanto analógicos como digitales. Sabemos que las neuronas son caóticas. Pueden tener fugas, fallar, envejecer y morir, y son sensibles a su entorno. En mi opinión, esto indica que un conjunto de transistores solo pueden reproducir aproximadamente el comportamiento de las neuronas. Por ejemplo, cuando discutimos la física del cerebro, vimos que si el axón se hace más fino, empieza a tener fugas y empeora su capacidad para producir reacciones químicas, lo cual será debido en parte a los efectos cuánticos. Si intentamos imaginar neuronas más finas, densas y rápidas, los efectos cuánticos se hacen más evidentes. Esto significa que incluso las neuronas normales presentan problemas de fugas e inestabilidad, y que estos problemas existen tanto en la visión clásica como en la mecanocuántica.

En resumen, un robot reconstruido por ingeniería inversa constituiría una buena aproximación a un cerebro humano, pero no sería perfecta. A diferencia de Penrose, yo creo que es posible crear un robot determinista compuesto por transistores que sea aparentemente consciente, sin libre albedrío alguno. Superaría el test de Turing. Pero creo que habrá diferencias entre ese robot y los humanos, debidas a los pequeños efectos cuánticos.

En última instancia, creo que el libre albedrío probablemente existe, pero no es el que imaginan los individualistas estrictos que afirman que son dueños exclusivos de su destino. Sobre el cerebro influyen miles de factores inconscientes que nos predisponen a tomar ciertas decisiones antes de que seamos conscientes de ellas, aunque creamos que somos nosotros quienes decidimos. Esto no significa necesariamente que seamos actores en una película que se pueda rebobinar en cualquier momento. El final de la película aún no está escrito. Una sutil combinación de efectos cuánticos y teoría del caos destruye el determinismo estricto. Al final, seguimos siendo dueños de nuestro destino.

Bibliografía

Baker, Sherry, «Helen Mayberg», en *Discover Magazine Presents the Brain*, Waukesha (Wisconsin), Kalmbach Publishing Co., otoño de 2012.

Bloom, Floyd, *Best of the Brain from Scientific American: Mind, Matter, and Tomorrow's Brain*, Nueva York, Dana Press, 2007.

Boleyn-Fitzgerald, Miriam, *Pictures of the Mind: What the New Neuroscience Tells Us About Who We Are*, Upper Saddle River, Pearson Education, 2010.

Brockman, John, ed. *The Mind: Leading Scientists Explore the Brain, Memory, Personality, and Happiness*, Nueva York, Harper Perennial, 2011. [Hay trad. cast.: *Mente: Los principales científicos exploran el cerebro, la memoria, la personalidad y el concepto de felicidad*, Barcelona, Crítica, 2012.]

Calvin, William H, *A Brief History of the Mind*, Nueva York, Oxford University Press, 2004.

Carter, Rita, *Mapping the Mind*, Berkeley, University of California Press, 1998. [Hay trad. cast.: *El nuevo mapa del cerebro*, Barcelona, RBA, 2001.]

Crevier, Daniel, *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*, Nueva York, Basic Books, 1993. [Hay trad. cast.: *Inteligencia Artificial*, Madrid, Acento, 1997.]

Crick, Francis, *The Astonishing Hypothesis: The Science Search for the Soul*, Nueva York, Touchstone, 1994. [Hay trad. cast.: *La búsqueda científica del alma: Una revolucionaria hipótesis para el siglo XXI*, Barcelona, Círculo de Lectores, 1994.]

Damasio, António, *Self Comes to Mind: Constructing the Conscious Brain*, Nueva York, Pantheon Books, 2010. [Hay trad. cast.: *Y el cerebro creó al hombre*, Barcelona, Booket, 2012.]

Davies, Paul, *The Eerie Silence: Renewing Our Search for Alien Intelligence*, Nueva York, Houghton, Mifflin, Harcourt, 2010. [Hay trad. cast.: *Un silencio inquietante: La nueva búsqueda de inteligencia extraterreste*, Barcelona, Crítica, 2011.]

Dennet, Daniel C., *Conscious Explained*, Nueva York, Back Bay Books, 1991. [Hay trad. cast.: *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*, Barcelona, Paidós Ibérica, 1995.]

—, *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon*, Nueva York, Viking, 2006. [Hay trad. cast.: *Romper el hechizo: la religión como un fenómeno natural*, Madrid, Katz, 2007.]

DeSalle, Rob, e Ian Tattersall, *The Brain: Big Bangs, Behaviors, and Beliefs*, New Haven, Yale University Press, 2012.

Eagleman, David, *Incognito: The Secret Lives of the Brain*, Nueva York, Pantheon Books, 2011. [Hay

trad. cast.: *Incógnito. Las vidas secretas del cerebro*, Barcelona, Anagrama, 2013.]

Fox, Douglas, «The Limits of Intelligence», *Scientific American*, julio de 2011.

Garreau, Joel, *Radical Evolution: The Promise and Peril of Enhancing Our Minds, Our Bodies—and What It Means to Be Human*, Nueva York, Random House, 2005.

Gazzaniga, Michael S, *Human: The Science Behind What Makes Us Unique*, Nueva York, HarperCollins, 2008. [Hay trad. cast.: *¿Qué nos hace humanos? La explicación científica de nuestra singularidad como especie*, Barcelona, Paidós, 2010.]

Gilbert, Daniel, *Stumbling on Happiness*, Nueva York, Alfred A. Knopf, 2006. [Hay trad. cast.: *Tropezar con la felicidad*, Barcelona, Destino, 2006.]

Gladwell, Malcolm, *Outliers: The Story of Success*, Nueva York, Back Bay Books, 2008. [Hay trad. cast.: *Fueras de serie: por qué unas personas tienen éxito y otras no*, Madrid, Taurus, 2009.]

Gould, Stephen Jay, *The Mismeasure of Man*, Nueva York, W. W. Norton, 1996. [Hay trad. cast.: *La falsa medida del hombre*, Barcelona, Crítica, 2007.]

Horstman, Judith, *The Scientific American Brave New Brain*, San Francisco, John Wiley and Sons, 2010.

Kaku, Michio, *Physics of the Future*, Nueva York, Doubleday, 2009. [Hay trad. cast.: *La física del futuro*, Barcelona, Debate, 2011.]

Kurzweil, Ray, *How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed*, Nueva York, Viking Books, 2012. [Hay trad. cast.: *Cómo crear una mente*, Berlín, Lola Books, 2013.]

Kushner, David. «The Man Who Builds Brains», *Discover Magazine Presents the Brain*, Waukesha, Kalmbach Publishing Co., otoño de 2011.

Moravec, Hans, *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence*, Cambridge, Harvard University Press, 1988. [Hay trad. cast.: *El hombre mecánico. El futuro de la robótica y la inteligencia humana*, Barcelona, Salvat, 1993.]

Moss, Frank, *The Sorcerers and Their Apprentices: How the Digital Magicians of the MIT Media Lab Are Creating the Innovative Technologies That Will Transform Our Lives*, Nueva York, Crown Business, 2011.

Nelson, Kevin, *The Spiritual Doorway in the Brain*, Nueva York, Dutton, 2011.

Nicolelis, Miguel, *Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines—and How It Will Change Our Lives*, Nueva York, Henry Holt and Co., 2011.

Pinker, Steven, *The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature*, Nueva York, Viking, 2007. [Hay trad. cast.: *El mundo de las palabras: Una introducción a la naturaleza humana*, Barcelona, Paidós Ibérica, 2007.]

—, *How the Mind Works*, Nueva York, W. W. Norton, 2009. [Hay trad. cast.: *Cómo funciona la mente*, Barcelona, Destino, 2008.]

—, «The Riddle of Knowing You're Here», *Your Brain: A User's Guide*, Nueva York, Time Inc.

Specials, 2011.

Piore, Adam, «The Thought Helmet: The U.S. Army Wants to Train Soldiers to Communicate Just by Thinking», *The Brain*, «Discover Magazine Special», primavera de 2012.

Purves, Dale, et al., eds. *Neuroscience*, Sunderland (Massachusetts), Sinauer Associates, 2001. [Hay trad. cast.: *Neurociencia*, Madrid, Panamericana, 2010.]

Ramachandran, V. S., *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientists's Quest for What Makes Us Human*, Nueva York, W. W. Norton, 2011. [Hay trad. cast.: *Lo que el cerebro nos dice: Los misterios de la mente humana al descubierto*, Barcelona, Paidós Ibérica, 2012.]

Rose, Steven, *The Future of the Brain: The Promise and Perils of Tomorrow's Neuroscience*, Oxford, Oxford University Press, 2005. [Hay trad. cast.: *Tu cerebro mañana: Cómo será la mente del futuro*, Barcelona, Paidós Ibérica, 2012.]

Sagan, Carl, *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*, Nueva York, Ballantine Books, 1977. [Hay trad. cast.: *Los dragones del Edén: Especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana*, Barcelona, Crítica, 2006.]

Sweeney, Michael S., *Brain. The Complete Mind, How It Develops, How It Works, And How to Keep It Sharp*, Washington, D.C., National Geographic, 2009.

Tammet, Daniel, *Born on a Blue Day: Inside the Extraordinary Mind of an Autistic Savant*, Nueva York, Free Press, 2006. [Hay trad. cast.: *Nacido en un día azul: Un viaje por el interior de la mente y la vida de un genio autista*, Barcelona, Sirio, 2007.]

Wade, Nicholas, ed., *The Science Times Book of the Brain*, Nueva York, New York Times Books, 1998.

Notas

Introducción

1. Para ver esto, definamos «complejo» en función de la cantidad total de información que se puede almacenar. El rival más cercano del cerebro sería la información contenida en nuestro ADN. Este está compuesto por tres mil millones de pares de bases, cada uno de los cuales contiene uno de cuatro ácidos nucleicos posibles, denominados A, T, C y G. Por lo tanto, la cantidad total de información que se puede almacenar en el ADN es cuatro elevado a la tres mil millonésima potencia. Pero el cerebro puede guardar mucha más información en sus cien mil millones de neuronas, que pueden estar activas o no. Así pues, hay dos elevado a la cien mil millonésima potencia estados iniciales posibles del cerebro humano. Pero, mientras que el ADN es estático, los estados del cerebro varían cada pocos milisegundos. Un solo pensamiento puede contener cien generaciones de activaciones neuronales. Por lo tanto, el número total de pensamientos posibles contenidos en cien generaciones es de dos elevado a la cien mil millonésima potencia, todo ello elevado a su vez a la centésima potencia. Pero nuestro cerebros están activos continuamente, día y noche, haciendo cálculos sin cesar. Por lo tanto, el número total de pensamientos posibles en N generaciones es dos elevado a la cien mil millonésima potencia, todo ello elevado a la enésima potencia, que es una cifra verdaderamente astronómica. Así pues, la cantidad de información que puede almacenar nuestro cerebro supera con creces la información almacenada en el ADN. De hecho, es la mayor cantidad de información que se puede almacenar en el sistema solar, y posiblemente en nuestro sector de la Vía Láctea.
2. Boleyn-Fitzgerald, p. 89.
3. Boleyn-Fitzgerald, p. 137.

Capítulo 1. Desentrañar el cerebro

1. Véase Sweeney, pp. 207-8.
2. Carter, p. 24.
3. Horstman, p. 87.
4. Carter, p. 28.
5. *The New York Times*, 10 de abril de 2013, p. 1.
6. Carter, p. 83.
7. Entrevista con el doctor Minsky para la serie *Visions of the Future* de BBC-TV, febrero de 2007. También, entrevista para el programa de radio *Science Fantastic*, noviembre de 2009.
8. Entrevista con el doctor Pinker en septiembre de 2003 para el programa de radio *Exploration*.
9. Pinker, *Time*, p. 15.
10. Boleyn-Fitzgerald, p. 111.
11. Carter, p. 52.
12. Entrevista con el doctor Michael Gazzaniga en septiembre de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
13. Carter, p. 53.
14. Boleyn-Fitzgerald, p. 119.
15. Entrevista con el doctor David Eagleman en mayo de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
16. Eagleman, p. 63.
17. Eagleman, p. 43.

Capítulo 2. La conciencia vista por un físico

1. Pinker, *How the Mind Works*, pp. 561-565.
2. *Biological Bulletin*, vol. 215, n.º 3, diciembre de 2008, p. 216.
3. La conciencia de nivel II se puede calcular haciendo una relación del número total de bucles de retroalimentación distintos cuando interactúa con miembros de su misma especie.

Como una estimación, la conciencia de nivel II se puede calcular aproximadamente multiplicando el número de animales de la manada o la tribu por el número total de emociones o gestos distintos que utiliza para comunicarse con los demás. Pero esta clasificación tiene sus salvedades, porque esto no es más que una primera aproximación.

Por ejemplo, un animal como el gato montés es social, pero también es un cazador solitario, por lo que aparentemente el número de animales de su manada es uno. Pero eso solo es cierto cuando está cazando. Cuando llega el momento de reproducirse, los gatos monteses se enzarzan en complejos rituales de apareamiento, cosa que su conciencia de nivel II debe tomar en consideración.

Además, cuando las hembras de gato montés dan a luz a sus crías, a las que deben cuidar y alimentar, el número de interacciones sociales aumenta. De manera que, incluso para un cazador solitario, el número de miembros de su especie con los que interactúa no es uno, y el total de bucles de retroalimentación distintos puede ser bastante grande.

Asimismo, si disminuye el número de lobos en la manada, parece que la conciencia de nivel II debería reducirse proporcionalmente. Para tener en cuenta esta situación, hemos de introducir el concepto de un número promedio de nivel II que es común para toda la especie, así como una conciencia de nivel II específica para un animal en particular.

El promedio de nivel II para determinada especie no varía si cambia el tamaño de la manada, porque es el mismo para toda la especie, pero el nivel II individual sí lo hace (pues mide la actividad mental y la conciencia individuales).

Cuando se aplica a los humanos, el número promedio de nivel II debe tener en cuenta el número de Dunbar, que es 150, y representa aproximadamente el número de personas de nuestro entorno social a quienes les podemos seguir la pista. Así, el número de nivel II para los humanos como especie vendría dado por el número total de emociones y gestos distintos que utilizamos para comunicarnos, multiplicado por el número de Dunbar. (Los individuos tienen distintos valores de la conciencia de nivel II, ya que sus círculos de amistades y las maneras en que interactúan con ellos pueden variar de forma considerable.)

También deberíamos señalar que determinados organismos de nivel I (como los insectos y los reptiles) pueden exhibir comportamientos sociales. Cuando se encuentran dos hormigas, intercambian información mediante compuestos químicos volátiles, y las abejas danzan para comunicar la ubicación de los macizos de flores. Los reptiles incluso poseen un sistema límbico rudimentario. Pero, por lo general, no muestran emociones.

4. Gazzaniga, p. 27.
5. Gilbert, p. 5.
6. Gazzaniga, p. 20.
7. Eagleman, p. 144.
8. Brockman, p. xiii.
9. Bloom, p. 51.
10. Bloom, p. 51.
11. Entrevista con el doctor Michael Gazzaniga en septiembre de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
12. Gazzaniga, p. 85.

CAPÍTULO 3. TELEPATÍA. UN PENIQUE POR TUS PENSAMIENTOS

1. <http://www.ibm.com/5in5>.
2. Entrevista con el doctor Gallant el 11 de julio de 2012 en la Universidad de California, en Berkeley. También, entrevista con el doctor Gallant en el programa de radio *Science Fantastic*, julio de 2012.
3. *Berkeleyan Newsletter*, 22 de septiembre de 2011, <http://newscenter.berkeley.edu/2011/09/22/brain-movies/>.
4. Brockman, p. 236.
5. Visita al laboratorio del doctor Pasley el 11 de julio de 2012, en la Universidad de California en Berkeley.

6. The Brain Institute, Universidad de Utah, Salt Lake City, <http://brain.utah.edu>.
7. <http://io9.com/5423338/a-device-that-lets-you-type-with-your-mind>.
8. <http://news.discovery.com/tech/type-with-your-mind-110309.htm>.
9. *Discover Magazine Presents the Brain*, primavera de 2012, p. 43.
10. *Scientific American*, noviembre de 2008, p. 68.
11. Garreau, pp. 23-24.
12. Simposio sobre el futuro de la ciencia patrocinado por Science Fiction Channel en el Centro Chabot para el Espacio y la Ciencia, Oakland (California), en mayo de 2004.
13. Conferencia en Anaheim (California), abril de 2009.
14. Garreau, p. 22.
15. Garreau, p. 19.
16. Visita al laboratorio del doctor Gallant en la Universidad de California en Berkeley, el 11 de julio de 2012.
17. <http://www.nbcnews.com / health / words-from-brainwaves-may-let-scientists-read-your-mind-1C6435988>.

CAPÍTULO 4. TELEQUINESIS. CONTROLAR LA MATERIA CON LA MENTE

1. *The New York Times*, 17 de mayo de 2012, p. A17 y <http://www.nbcnews.com / id / 47447302 / ns / health-health_care / t / parallyzed-woman-gets-robotic-arm.html>.
2. Entrevista con el doctor John Donoghue en noviembre de 2009 para el programa de radio *Science Fantastic*.
3. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Washington, D.C., <http://www.cdc.gov / traumaticbraininjury / scifacts.html>.
4. <http://physio.northwestern.edu / faculty / profile.html?xid=14942>; <http://www.northwestern.edu / newscenter / stories / 2012 / 04 / miller-paralyzed-technology.html>.
5. <http://www.northwestern.edu / newscenter / stories / 2012 / 04 / miller-paralyzed-technology.html>.
6. <http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Revolutionizing_Prosthetics.aspx>. Programa *60 Minutes*, cadena CBS, emitido el 30 de diciembre de 2012.
7. *Ibid*.
8. *Ibid*.
9. *The Wall Street Journal*, 29 de mayo de 2012.
10. Entrevista con el doctor Nicolelis en abril de 2011 para el programa de radio *Science Fantastic*.
11. *The New York Times*, 13 de marzo de 2013, <http://www.nytimes.com / 2013 / 03 / 01 / science / new-research-suggests-two-rat-brains-can-be-linked.html>. Véase también *Huffington Post*, 28 de febrero de 2013, <http://www.huffingtonpost.com / 2013 / 02 / 28 / mind-melds-brain-communication_n_2781609.html>.
12. *USA Today*, 8 de agosto de 2013, p. 1D.
13. Entrevista con el doctor Nicolelis en abril de 2011.
14. Para una discusión completa sobre el exoesqueleto, véase Nicolelis, pp. 303-307.
15. <http://www.asimo.honda.com>. También, entrevista con los creadores de ASIMO en abril de 2007 para la serie *Visions of the Future* de BBC-TV.
16. <http://discovermagazine.com/2007/may/review-test-driving-the-future>.
17. *Discover*, 9 de diciembre de 2011, <http://discovermagazine.com/2011/dec/09-mind-over-motor-controlling-robots-with-your-thoughts>.
18. Nicolelis, p. 315.
19. Entrevista con los científicos en Carnegie Mellon en agosto de 2010 para la serie *Sci Fi Science* de Discovery/Science Channel TV.

Capítulo 5. Recuerdos y pensamientos por encargo

1. Wade, p. 89.
2. *Ibid.*, p. 91.
3. Damasio, pp. 130-153.
4. Wade, p. 232.
5. <http://www.newscientist.com/article/dn3488>.
6. <http://www.eurekalert.org/pub_releases/2011-06/uosc-rmr061211.php>.
7. <http://hplusmagazine.com/2009/03/18/artificial-hippocampus/>.
8. <http://articles.washingonpost.com/2013-07-12/national/40863765_1_brain-cells-mice-new-memories>.
9. Esto trae a colación la cuestión de si las palomas mensajeras, las aves migratorias, las ballenas, etcétera, poseen memoria a largo plazo, puesto que son capaces de migrar cientos o miles de kilómetros en busca de alimento o de lugares donde procrear. La ciencia sabe poco al respecto, pero se cree que su memoria a largo plazo está basada en la capacidad para localizar ciertos hitos a lo largo del recorrido, más que en la recuperación de recuerdos elaborados de eventos pasados. Dicho de otra manera, no utilizan el recuerdo de eventos pasados para simular el futuro. Su memoria a largo plazo consiste simplemente en una serie de jalones. Al parecer, los humanos somos los únicos que utilizamos la memoria a largo plazo para simular el futuro.
10. Michael Lemonick, «Your Brain: A User's Guide», *Time*, diciembre de 2011, p. 78.
11. <http://www.sciencedaily.com/videos/2007/0210-brain_scans_of_the_future.htm>.
12. <http://www.sciencedaily.com/videos/2007/0710-brain_scans_of_the_future.htm>.
13. *The New York Times*, 12 de septiembre de 2012, p. A18.
14. <http://www.tgdaily.com / general-sciences-features / 58736-artificial-cerebellum-restores-rats-brain-function>.
15. Alzhéimer's Foundation of America, <http://www.alzfdn.org>.
16. ScienceDaily.com, octubre de 2009, <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/10/091019122647.htm>.
17. *Ibid*.
18. Wade, p. 113.
19. *Ibid*.
20. Wade, p. 114.
21. Bloom, p. 244.
22. SATI e-News, 28 de junio de 2007, <http://www.mysati.com/enews/June2007/ptsd.htm>.
23. Boleyn-Fitzgerald, p. 104.
24. *Ibid*.
25. Boleyn-Fitzgerald, p. 105.
26. Boleyn-Fitzgerald, p. 106.
27. Nicolelis, p. 318.
28. *New Scientist*, 12 de marzo de 2003, <http://www.newscientist.com/article/dn3488>.

Capítulo 6. El cerebro de Einstein y el incremento de la inteligencia

1. <http://abcnews.go.com/blogs/headlines/2012/03/einsteins-brain-arrives-in-london-after-odd-journey/>.
2. Gould, p. 109.
3. <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/12/111208125720.htm>.
4. Gladwell, p. 40.
5. Véase C. K. Holahan y R. R. Sears, *The Gifted Group in Later Maturity*, Stanford University Press, Stanford, 1995.
6. Boleyn-Fitzgerald, p. 48.
7. Sweeney, p. 26.
8. Bloom, p. 12.

9. Bloom, p. 15.
10. <http://www.daroldtreffert.com>.
11. Tammet, p. 4.
12. Entrevista con Daniel Tammet en octubre de 2007 para el programa de radio *Science Fantastic*.
13. *Science Daily*, marzo de 2012, <http://www.sciencedaily.com/releases/2012/03/120322100313.htm>.
14. Noticia de Associated Press, 8 de noviembre de 2004, <http://www.Space.com>.
15. Neurology, n.º 51, octubre de 1998, pp. 978-982. Véase también: <https://www.wisconsinmedicalsociety.org / professional / savant-syndrome / resources / articles / the-acquired-savant/>.
16. Sweeney, p. 252.
17. Centro de la Mente, Sidney, Australia, <http://www.centerofthemind.com>.
18. R. L. Young, M. C. Ridding y T. L. Morrell, «Switching Skills on by Turning Off Part of the Brain», *Neurocase 10* (2004), pp. 215, 222.
19. Sweeney, p. 311.
20. *Science Daily*, mayo de 2012, <http://www.sciencedaily.com/releases/2012/05/120509180113.htm>.
21. *Ibid*., 194.
22. Sweeney, p. 294.
23. Sweeney, p. 295.
24. Katherine S. Pollard, «What Makes Us Different», *Scientific American Special Collectors Edition*, invierno de 2013, pp. 31-35.
25. *Ibid*.
26. *Ibid*.
27. TG Daily, 15 de noviembre de 2012, <http://www.tgdaily.com/general-sciences-features/67503-new-found-gene-separates-man-from-apes>.
28. Véase, por ejemplo, Gazzaniga, *Human: The Science Behind What Makes Us Unique* (hay trad. en cast.: *¿Qué nos hace humanos?*, Barcelona, Paidós, 2010).
29. Gilbert, p. 15.
30. Douglas Fox, «The Limits of Intelligence», *Scientific American*, julio de 2011, p. 43.
31. *Ibid*., p. 42.

CAPÍTULO 7. EN TUS SUEÑOS

1. C. Hall y R. Van de Castle, *The Content Analysis of Dreams*, Appleton-Century-Crofts, Nueva York, 1966.
2. Entrevista con el doctor Allan Hobson en julio de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
3. Wade, p. 229.
4. *New Scientist*, 12 de diciembre de 2008, <http://www.newscientistcom/article/dn16267-mindreading-software-coudl-record-yourdreams.html>.
5. Visita al laboratorio del doctor Gallant, el 11 de julio de 2012.
6. *Science Daily*, 28 de octubre de 2011, <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/111028113626.htm>.
7. Véanse los trabajos del doctor Babak Parviz, <http://www.wearable-technologies.com/262>.

CAPÍTULO 8. ¿SE PUEDE CONTROLAR LA MENTE?

1. Miguel Nicolelis, *Beyond Boundaries*, Nueva York, Henry Holt, 2011, pp. 228-232.
2. «Project MKUltra, the CIA's Program of Research into Behavioral Modification. Joint Hearings Before the Select Committee on Human Resources, U.S. Senate, 95th Congress, First Session», Government Printing Office, 8 de agosto de 1977, Washington, D.C.,

<http://www.nytimes.com / packages / pdf / national / 13inmate_ProjectMKULTRA.pdf;> «CIA Says It Found More Secret Papers on Behavior Control», *The New York Times*, 3 de septiembre de 1977; «Government Mind Control Records of MKUltra and Bluebird/Artichoke», <http://wanttoknow.info / mindcontrol.shtml>; «The Select Committee to Study Governmental Operations with Respect to Intelligence Activities, Foreign and Military Intelligence», The Church Committee Report n.º 94-755, 94th Congress, 2nd Session, p. 392, Washington, D.C., Government Printing Office, 1976; «Project MKUltra, The CIA's Program of Research in Behavior Modification», <http://scribd.com / doc / 75512716 / Project-MKUltra-The-CIAs-Program-of-Research-in-Behavior-Modification>.

3. Rose, p. 292.
4. Rose, p. 293.
5. «Hypnosis in Intelligence», The Black Vault Freedom of Information Act Archive, 2008, <http://documents.theblackvault.com / documents / mindcontrol / hypnosisinintelligence.pdf>.
6. Boleyn-Fitzgerald, p. 57.
7. Sweeney, p. 200.
8. Boleyn-Fitzgerald, p. 58.
9. <http://www.nytimes.com/2011/05/17/science/17 optics.html>.
10. *The New York Times*, 17 de marzo de 2011, <http://nytimes.com/2011/05/17/science/17optics.html>.

CAPÍTULO 9. ESTADOS ALTERADOS DE CONCIENCIA

1. Eagleman, p. 207.
2. Boleyn-Fitzgerald, p. 122.
3. Ramachandran, p. 280.
4. David Biello, *Scientific American Mind*, p. 41, www.sciammind.com.
5. *Ibid*., p. 42.
6. *Ibid*., p. 45.
7. *Ibid*., p. 44.
8. Sweeney, p. 166.
9. Sweeney, p. 90.
10. Sweeney, p. 165.
11. Sweeney, p. 208.
12. Ramachandran, p. 267.
13. Carter, pp. 100-103.
14. Baker, pp. 46-53.
15. Baker, p. 3.
16. Carter, p. 98.
17. *The New York Times*, 26 de febrero de 2013, <http://www.nytimes.com / 2013 / 03 / 01 / health / study-finds-genetic-risk-factors-shared-by-5>.
18. *Ibid*.

CAPÍTULO 10. LA MENTE ARTIFICIAL Y LA CONCIENCIA DE SILICIO

1. Crevier, p. 109.
2. *Ibid*.
3. Kaku, p. 79.
4. Brockman, p. 2.

5. Entrevista con los creadores de ASIMO durante una visita al laboratorio de Honda en Nagoya (Japón) en abril de 2007 para la serie de BBC-TV *Visions of the Future*.

6. Entrevista con el doctor Rodney Brooks en abril de 2002 para el programa de radio *Exploration*.

7. Visita al Media Laboratory del MIT para la serie de televisión *Sci Fi Science* del canal Discovery/Science Channel, 13 de abril de 2010.

8. Moss, p. 168.

9. Gazzaniga, p. 352.

10. Gazzaniga, p. 252.

11. *The Guardian*, 9 de agosto de 2010, <http://www.guardian.co.uk / technology / 2010 / aug / 09 / nao-robot-develop-emotions.htm>.

12. <http://cosmomagazine.com/news/4177/reverseengineering-brain>.

13. Damasio, pp. 108-129.

14. Kurzweil, p. 248.

15. Pinker, «The Riddle of Knowing You're Here», *Time: Your Brain: A User's Guide*, Winter, 2011, p. 19.

16. Gazzaniga, p. 352.

17. Kurzweil.net, 24 de agosto de 2012, <http://www.kurzweilai.net/robot-learns-self-awareness>. Véase también *Yale Daily News*, 25 de septiembre de 2012, <http://yaledailynews.blog/2012/09/25/first_self_aware_robot_created>.

18. Entrevista con el doctor Hans Moravec en noviembre de 1998 para el programa de radio *Exploration*.

19. Sweeney, p. 316.

20. Entrevista con el doctor Brooks en abril de 2002 para el programa de radio *Exploration*.

21. TEDTalks, <http://www.ted.com/talks/lang/en/rodney_brooks_on_robots.html>.

22. <http://phys.org/news205059692.html>.

CAPÍTULO 11. INGENIERÍA INVERSA DEL CEREBRO

1. <http://actu.epfl.ch/news/the human-brain-project-wins-top-european-science>.

2. <http://ted.com/talks/henry_markram_supercomputing_the_brain's_secrets.html>.

3. Kushner, p. 19.

4. *Ibid.*, p. 2.

5. Sally Adee, «Reverse Engineering the Brain», *IEEE Spectrum*, <http://spectrum.ieee.org / biomedical / ethics / reverse_engineering_the_brain>.

6. <http://cnn.com/2012/01/tech/innovation/brainmap-connectome/index.html.

7. <http://www.ted.com/talks/lang.en/sebastian_seung.html>.

8. <http://t-si.org/neuroscience/29735-allenhuman-brain-atlas-updates-with-comprehensive)>.

9. Conferencias TED, enero de 2010, <http://www.ted.com>.

CAPÍTULO 12. EL FUTURO: LA MENTE MÁS ALLÁ DE LA MATERIA

1. Nelson, p. 137.

2. Nelson, p. 140.

3. *National Geographic News*, 8 de abril de 2010, <http://news.nationalgeographic.com / news / 2010 / 04 / 100408-near-death-experiences-bloodcarbon.htm>; Nelson, p. 126

4. Nelson, p. 126.

5. Nelson, p. 128.

6. Dubái, Emiratos Árabes Unidos, noviembre de 2012. Entrevistado en febrero de 2003 para el programa de radio *Exploration*.

Entrevistado en octubre de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.

7. Bloom, p. 191.
8. Sweeney, p. 298.
9. Carter, p. 298.
10. Entrevista con el doctor Robert Lanza en septiembre de 2009 para el programa de radio *Exploration*.
11. Sebastian Seung, conferencias TED, <http://www.ted.com/talks/lang/en/sebastian_seung.html>.
12. <http://www.bbc.com.uk/sn/tvradio/programmes/horizon/broadband/tx/isolation>.
13. Entrevista con el doctor Moravec en noviembre de 1998 para el programa de radio *Exploration*.
14. Véase una serie de cartas en *Chemical and Engineering News* de 2003 a 2004.
15. Garreau, p. 128.

CAPÍTULO 13. LA MENTE COMO ENERGÍA PURA

1. Sir Martin Rees, *Our Final Hour*, Nueva York, Perseus Books, 2003, p. 182.

CAPÍTULO 14. LA MENTE EXTRATERRESTRE

1. Kepler Web Page, <http://kepler.nasa.gov>.
2. *Ibid*.
3. Entrevista con el doctor Wertheimer en junio de 1999 para el programa de radio *Exploration*.
4. Entrevista con el doctor Seth Shostak en mayo de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
5. *Ibid*.
6. Davies, p. 22.
7. Sagan, p. 221.
8. *Ibid*.
9. *Ibid*.
10. Sagan, p. 113.
11. Eagleman, p. 77.
12. Entrevista con el doctor Paul Davies en abril de 2012 para el programa de radio *Science Fantastic*.
13. Davies, p. 159.
14. *Discovery News*, 27 de diciembre de 2011, <http://news.discovery.com/space/seti-to-scour-the-moon-for-alien-tech-111227.htm>.

CAPÍTULO 15. CONCLUSIONES

1. *Wired*, abril de 2000, <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>.
2. Garreau, p. 139.
3. Garreau, p. 180.
4. Gazzaniga, p. 353.
5. Garreau, p. 182.
6. Eagleman, p. 205.
7. Eagleman, p. 208.

8. Pinker, p. 132.
9. Entrevista con el doctor Stephen Jay Gould en noviembre de 1996 para el programa de radio *Exploration*.
10. Pinker, p. 133.
11. Pinker, «The Riddle of Knowing You're Here», *Time: Your Brain: A User's Guide*, invierno de 2011, p. 19.
12. Eagleman, p. 224.

APÉNDICE. ¿CONCIENCIA CUÁNTICA?

1. Entrevista con el doctor Simon-Baron-Cohen en julio de 2005 para el probrama de rdio Exploration.
2. Sweeney, p. 150.

OTROS TÍTULOS DE MICHIO KAKU

FÍSICA DE LO IMPOSIBLE

LA FÍSICA DEL FUTURO

Michio Kaku, nacido en 1947 en Estados Unidos de padres japoneses, es un eminente físico teórico y uno de los creadores de la teoría de campos de cuerdas. Apadrinado por Edward Teller, que le ofreció la beca de ingeniería Hertz, se formó en Harvard y en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de la Universidad de California, donde obtuvo el doctorado en Física en 1972. Desde hace casi treinta años es titular de la cátedra Henry Semat de Física Teórica en la Universidad de Nueva York y es uno de los divulgadores científicos más conocidos del mundo; además, presenta dos programas de radio y participa en espacios de televisión y documentales. Es autor de decenas de artículos y de varios libros, algunos de ellos traducidos al castellano: *Visiones* (Debate, 1998), *Hiperespacio* (2001), *El universo de Einstein* (2005) y *Universos paralelos* (2008). Sus obras *Física de lo imposible* (Debate, 2009) y *La física del futuro* (Debate, 2011) fueron un éxito de ventas internacional.

Título original: *The Future of the Mind*

Edición en formato digital: marzo de 2014

© 2014, Michio Kaku
© 2014, Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U.
Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona
© 2014, Juan Manuel Ibeas Delgado y Marcos Pérez Sánchez, por la traducción

Diseño de la cubierta: © Mike Windsor

Penguin Random House Grupo Editorial apoya la protección del *copyright*. El *copyright* estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Gracias por comprar una edición autorizada de este libro y por respetar las leyes del *copyright* al no reproducir ni distribuir ninguna parte de esta obra por ningún medio sin permiso. Al hacerlo está respaldando a los autores y permitiendo que PRHGE continúe publicando libros para todos los lectores. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, http://www.cedro.org) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-84-9992-434-2

Conversión a formato digital: M.I. maqueta, S.C.P.

www.megustaleer.com

Índice

El futuro de nuestra mente
Agradecimientos
Introducción
Primera parte. La mente y la conciencia
1. Desentrañar el cerebro
2. La conciencia vista por un físico
Segunda parte. La mente sobre la materia
3. Telepatía. Un penique por tus pensamientos
4. Telequinesis. Controlar la materia con la mente
5. Recuerdos y pensamientos por encargo
6. El cerebro de Einstein y el incremento de la inteligencia
Tercera parte. Conciencias alteradas
7. En tus sueños
8. ¿Se puede controlar la mente?
9. Estados alterados de conciencia
10. La mente artificial y la conciencia de silicio
11. Ingeniería inversa del cerebro
12. El futuro: la mente más allá de la materia
13. La mente como energía pura
14. La mente extraterrestre
15. Conclusiones
Apéndice. ¿Conciencia cuántica?
Bibliografía
Notas
Otros títulos de Michio Kaku
Biografía
Créditos